

**Universidade de Brasília**  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo  
Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

ANDRÉ CRISPIM DOS SANTOS

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO DE SISTEMA  
CONSTRUTIVO COMPOSTO DE PAINEL DE AGLOMERADO DE  
PARTÍCULAS DE BAMBU POR MEIO DO SOFTWARE WUFI**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, como requisito necessário à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, dentro da linha de pesquisa Sustentabilidade, Qualidade e Eficiência do ambiente construído.

Orientador: Prof. Caio Frederico e Silva

BRASÍLIA

2018

ANDRÉ CRISPIM DOS SANTOS

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO DE SISTEMA  
CONSTRUTIVO COMPOSTO DE PAINEL DE AGLOMERADO DE  
PARTÍCULAS DE BAMBU POR MEIO DO SOFTWARE WUFI**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, como requisito necessário à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

**Banca examinadora:**

---

**Prof. Caio Frederico e Silva – D. Sc.**

Orientador (FAU-UnB)

---

**Prof. Márcio Albuquerque Buson – D. Sc.**

Examinador interno (FAU-UnB)

---

**Prof. Rodrigo Studart Corrêa – Ph. D.**

Examinador externo (PPGCA-UnB)

Brasília, 21 de setembro de 2018

*"Abrem-se portas e janelas nas paredes de uma casa, mas é o vazio que a torna habitável".*

*Lao-Tsé*

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.



## **Sumário**

Lista de figuras	vii
Lista de tabelas	ix
Lista de gráficos	xi
Resumo	xii
Abstract	xiii
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>1.1. OBJETIVOS DA PESQUISA</b>	<b>4</b>
Objetivo geral	4
Objetivos específicos	4
<b>1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO</b>	<b>5</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>6</b>
<b>2.1. BAMBU: POTENCIAL DE USO NO BRASIL</b>	<b>6</b>
<b>2.2. APLICAÇÕES DO BAMBU</b>	<b>11</b>
<b>2.3. OS LAMINADOS DE BAMBU</b>	<b>12</b>
<b>2.4. PAINÉIS DE BAMBU RECONSTITUÍDO</b>	<b>13</b>
Aglomerado de Partículas de bambu	15
<b>2.5. CHUVA INCIDENTE NA PAREDE DAS FACHADAS</b>	<b>16</b>
<b>2.6. COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO</b>	<b>17</b>
<b>2.7. ENSAIOS LABORATORIAIS DE PARÂMETROS HIGROTÉRMICOS</b>	<b>22</b>
Absorção capilar	22
Permeabilidade ao vapor de água	24
<b>3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b>	<b>28</b>
<b>3.1. MATERIAIS E COMPONENTES</b>	<b>30</b>
Confecção dos corpos de prova – Séries 1 e 2	30
Confecção dos corpos de prova – Séries 3 e 4	34
	v

3.2. RESULTADOS EXPERIMENTAIS	39
Absorção capilar (Série 1)	39
Permeabilidade ao vapor de água (Série 2)	41
Absorção capilar (Série 3)	45
Permeabilidade ao vapor de água (Série 4)	48
3.3. SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA COMPUTACIONAL	50
Modelagem de sistema de painéis de bambu no WUFI	50
4. RESULTADOS E ANÁLISE	57
4.1. HOMOGENEIDADE DAS PLACAS EM RELAÇÃO À DENSIDADE E GANHO DE MASSA	57
4.2. INFLUÊNCIA DA ZONA BIOCLIMÁTICA, POSIÇÃO DA CAMADA E MATERIAL DO PAINEL	61
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
6. REFERÊNCIAS	82
ANEXO I	88
ANEXO II	92

## Lista de figuras

Figura 1: Resíduos provenientes da laminação (Fonte: Arquivo CPAB/UnB)	4
Figura 2: Área hachurada mostra a distribuição geográfica do bambu antes de 1960 (Fonte: LÓPEZ, 2003, p. 33).	6
Figura 3: Ocorrência de floresta aberta com bambus <i>Guadua</i> , no sudoeste da Amazônia (Fonte: SILVEIRA 2006, apud AFONSO, 2011, p. 11).	6
Figura 4: Partes de um colmo de bambu (Fonte: MOIZES, 2007, p. 29).	7
Figura 5: Corte transversal do colmo de <i>Guadua angustifolia</i> mostrando a distribuição das fibras (Fonte: GHAVAMI e MARINHO, 2002).	8
Figura 6: <i>Dinoderus minutus</i> F. e <i>Rhinastus latistemus</i> C. (Fonte: LIESE, 1998, p. 25 e SANTOS, 1986, p. 15).	8
Figura 7: Método <i>boucherie</i> (Fonte: <a href="http://www.bamboocostarica.com/Immunization.html">www.bamboocostarica.com/Immunization.html</a> ).	10
Figura 8: Possibilidades do uso do bambu (Fonte: BERALDO e PEREIRA, 2007, p. 155).	12
Figura 9: Produtos de bambu laminado colado (Fonte: <a href="http://www.go-green.ae">www.go-green.ae</a> ).	13
Figura 10: Organograma com os painéis de bambu reconstituído encontrados comercialmente (Fonte: MOIZÉS, 2007, p. 48).	14
Figura 13: Representação esquemática do ensaio de permeabilidade ao vapor de água (Fonte: Desenho do autor)	26
Figura 11: Fluxograma com a 1ª etapa do trabalho.	28
Figura 12: Fluxograma com a 2ª etapa do trabalho.	29
Figura 14: Montagem das peneiras	30
Figura 15: Agitador de partículas	30
Figura 16: Balança determinadora de umidade	32
Figura 17: Extrato de Acácia Negra	33
Figura 18: Diluição do tanino	33
Figura 19: Aplicação do adesivo	34
Figura 20: Colchão de partículas	34
Figura 21: Prensagem	34
Figura 22: Caixa de compactação	38
Figura 23: Colchão de partículas	38
Figura 24: Início da prensagem	38

Figura 25: Término da prensagem	38
Figura 26: Esquema de corte dos CPs.	39
Figura 27: Aplicação da parafina.	40
Figura 28: Tabuleiro com as CPs em ensaio.	40
Figura 29: Esquema de corte dos CPs.	42
Figura 30: Tabuleiro com os CPs em ensaio.	42
Figura 31: Esquema de corte dos CPs.	45
Figura 32: Corpos de prova confeccionados para os ensaios	46
Figura 33: Tabuleiro com as CPs em ensaio.	46
Figura 34: Bambooframe (Fonte: Acervo CPAB/UnB).	51
Figura 35: Desenho esquemático das camadas de vedação.	52
Figura 36: Radiação solar e chuva incidente em Curitiba (Fonte: ANTAC).	53
Figura 37: Radiação solar e chuva incidente em Passo Fundo (Fonte: ANTAC).	53
Figura 38: Radiação solar e chuva incidente em São Paulo (Fonte: ANTAC).	54
Figura 39: Radiação solar e chuva incidente em Brasília (Fonte: ANTAC).	54
Figura 40: Radiação solar e chuva incidente em Niterói (Fonte: ANTAC).	55
Figura 41: Radiação solar e chuva incidente em Goiânia (Fonte: ANTAC).	55
Figura 42: Radiação solar e chuva incidente em Cuiabá (Fonte: ANTAC).	56
Figura 43: Radiação solar e chuva incidente em Rio Branco (Fonte: ANTAC).	56

## Lista de tabelas

Tabela 1: Aproveitamento do bambu ( <i>Dendrocalamus asper</i> ) na produção de ripas (Fonte: ALMEIDA <i>et al.</i> , 2015).....	3
Tabela 2: Valores de $R_1$ e $R_2$ (Fonte: WUFI).....	19
Tabela 3: Lista dos parâmetros disponibilizados pelo WUFI (Fonte: COELHO, 2015). ....	21
Tabela 4: Soluções condicionadoras (Fonte: EN 12572) .....	25
Tabela 5: Propriedades relacionadas à permeabilidade (Fonte: EN 12572). ...	27
Tabela 6: Configuração das chapas .....	30
Tabela 7: Preparação do colchão.....	31
Tabela 8: Prensagens .....	31
Tabela 9: Teste de viscosidade .....	32
Tabela 10: Teste de teor de sólidos .....	33
Tabela 11: Configuração das chapas.....	35
Tabela 12: Preparação do colchão.....	35
Tabela 13: Prensagens .....	35
Tabela 14: Teste de viscosidade .....	37
Tabela 15: Teste de teor de sólidos .....	37
Tabela 16: Variação da massa (g) em função do tempo.....	40
Tabela 17: Dimensões dos corpos de prova. ....	42
Tabela 18: Massa dos corpos de prova (g). ....	43
Tabela 19: Ganho de massa (g). ....	43
Tabela 20: Dados obtidos por meio do ensaio .....	43
Tabela 21: Variação da massa (g) em função do tempo.....	46
Tabela 22: Dimensões dos corpos de prova. ....	48
Tabela 23: Massa dos corpos de prova (g). ....	48
Tabela 24: Ganho de massa (g). ....	49
Tabela 25: Dados obtidos por meio do ensaio .....	49
Tabela 26: Materiais e espessura das camadas do sistema construtivo.....	51
Tabela 27: Valores da densidade ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) .....	57
Tabela 28: Valores de ganho de massa ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ).....	59
Tabela 29: Valores da constante G ( $\text{kg}/\text{s}$ ) .....	60

Tabela 30: Valores do teor de umidade [kg/m <sup>3</sup> ] nos painéis - Curitiba .....	61
Tabela 31: Valores do teor de umidade [kg/m <sup>3</sup> ] nos painéis - Passo Fundo ....	62
Tabela 32: Valores do teor de umidade [kg/m <sup>3</sup> ] nos painéis - São Paulo .....	63
Tabela 33: Valores do teor de umidade [kg/m <sup>3</sup> ] nos painéis - Brasília .....	65
Tabela 34: Valores do teor de umidade [kg/m <sup>3</sup> ] nos painéis - Niterói .....	66
Tabela 35: Valores do teor de umidade [kg/m <sup>3</sup> ] nos painéis - Goiânia .....	67
Tabela 36: Valores do teor de umidade [kg/m <sup>3</sup> ] nos painéis - Cuiabá .....	68
Tabela 37: Valores do teor de umidade nos painéis - Rio Branco.....	69
Tabela 38: Valores do teor de umidade nos painéis externos de madeira .....	71
Tabela 39: Valores do teor de umidade nos painéis internos de madeira .....	72
Tabela 40: Valores do teor de umidade nos painéis externos de bambu .....	73
Tabela 41: Valores do teor de umidade nos painéis internos de bambu .....	74
Tabela 42: Valores do teor de umidade total – Sistema com painéis de madeira .....	75
Tabela 43: Valores do teor de umidade total – Sistema com painéis de bambu .....	76
Tabela 44: Quadro resumo em relação à média do teor de umidade. ....	78
Tabela 45: Quadro resumo em relação ao coeficiente de variação do teor de umidade.....	78
Tabela 46: Variação da massa dos corpos de prova (g) – Série 1.....	92
Tabela 47: Variação da massa dos corpos de prova (%) – Série 1.....	92
Tabela 48: Variação da massa dos corpos de prova (g) – Série 2.....	93
Tabela 49: Variação da massa dos corpos de prova (%) – Série 2.....	93
Tabela 50: Variação da massa dos corpos de prova (g) – Série 3.....	94
Tabela 51: Variação da massa dos corpos de prova (%) – Série 3.....	94
Tabela 52: Variação da massa dos corpos de prova (g) – Série 4.....	95
Tabela 53: Variação da massa dos corpos de prova (%) – Série 4.....	95

## Lista de gráficos

Gráfico 1: Média da absorção de água por capilaridade .....	41
Gráfico 2: Média do ganho de massa.....	44
Gráfico 3: Absorção de água por capilaridade .....	47
Gráfico 4: Média do ganho de massa.....	50
Gráfico 5: Densidade dos corpos de prova (g/m <sup>3</sup> ).....	57
Gráfico 6: Absorção de água por capilaridade – Série 1 .....	58
Gráfico 7: Absorção de água por capilaridade – Série 3 .....	59
Gráfico 8: Ganho de massa – Série 2 .....	60
Gráfico 9: Ganho de massa – Série 4 .....	60
Gráfico 10: Teor de umidade nos painéis - Curitiba .....	61
Gráfico 11: Teor de umidade nos painéis - Passo Fundo .....	62
Gráfico 12: Teor de umidade nos painéis - São Paulo .....	63
Gráfico 13: Teor de umidade nos painéis - Brasília.....	64
Gráfico 14: Teor de umidade nos painéis - Niterói .....	66
Gráfico 15: Teor de umidade nos painéis - Goiânia .....	67
Gráfico 16: Teor de umidade nos painéis - Cuiabá .....	68
Gráfico 17: Teor de umidade nos painéis - Rio Branco.....	69
Gráfico 18: Teor de umidade nos painéis externos de madeira .....	71
Gráfico 19: Teor de umidade nos painéis internos de madeira .....	72
Gráfico 20: Teor de umidade nos painéis externos de bambu .....	73
Gráfico 21: Teor de umidade nos painéis internos de bambu .....	74
Gráfico 22: Teor de umidade total – Painéis de madeira .....	75
Gráfico 23: Teor de umidade total – Painéis de bambu .....	76
Gráfico 24: Maior e menor média do teor de umidade total.....	77
Gráfico 25: Maior e menor coeficiente de variação do teor de umidade total...	77

## **Resumo**

No âmbito da construção civil, a busca por materiais renováveis e com baixo impacto no meio ambiente, se faz necessária. Com esta demanda em vista, o bambu surge como uma matéria-prima com bastante potencial de uso no Brasil. Este trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento higrotérmico de sistema construtivo composto de painel de aglomerado de partículas de bambu por meio de simulação computacional utilizando o software WUFI (versão 6.1). Para isso, foi realizada a determinação laboratorial de propriedades que condicionam a capacidade de armazenamento de umidade: a permeabilidade ao vapor de água e o coeficiente de absorção de água. A partir dessa etapa, foram geradas simulações de dois sistemas construtivos configurados de maneira semelhante, sendo um composto por painéis de bambu utilizando dados obtidos nos ensaios e outro composto por painéis de madeira utilizando dados de material já existente no programa. Essas simulações foram efetuadas para a orientação norte nas 8 (oito) diferentes zonas bioclimáticas brasileiras (NBR 15220-3, ABNT 2003). Os resultados mostraram que o comportamento higrotérmico dos painéis de aglomerado de partículas de bambu apresentou um desempenho inferior ao painel de aglomerado de partículas de madeira nas zonas bioclimáticas de Z1 a Z4 e alcançou um desempenho superior em relação à maioria dos fatores analisados para as zonas bioclimáticas de Z5 a Z8, ambos aplicados na forma de componente de um sistema de vedação.

**Palavras-chave:** Comportamento higrotérmico, Bambu, Simulação computacional, Zoneamento bioclimático.



## **Abstract**

In the scope of civil construction, the search for renewable and low environmental impact materials becomes necessary. With this demand in view, bamboo emerges as a raw material with great potential for use in Brazil. The objective of this work was to evaluate the hygrothermic performance of a constructive system composed of particleboard of bamboo. This evaluation process in terms of capacity to absorb moisture was conducted by WUFI software (version 6.1). We have chosen two different properties: the water vapor permeability and the water absorption coefficient. Furthermore, simulations of two similarly configured construction systems were generated: the first one composed of bamboo panels using data obtained from the tests and the second one composed of wood panels using data from existing material in the software. These simulations were performed for northern orientation in 8 (eight) different Brazilian bioclimatic zones (NBR 15.220-3, ABNT 2003). The results showed that the hygrothermal behavior of the particleboard of bamboo had a lower performance than the particleboard of wood in the bioclimatic zones Z1 to Z4 and achieved a superior performance in relation to the majority of factors analyzed for bioclimatic zones Z5 to Z8, both applied in the form of a component of a sealing system.

**Keywords:** Hygrothermal performance, Bamboo, Computer simulation, Bioclimatic zoning.

## **1. INTRODUÇÃO**

A busca por um modelo de desenvolvimento sustentável se tornou uma necessidade vital para o ser humano devido à supressão progressiva dos recursos naturais e ao conseqüente aumento da degradação do ecossistema global (ONU, 2015). Neste sentido, a urgência do estabelecimento de uma relação menos predatória do homem com o meio onde vive, impulsiona o desenvolvimento de materiais renováveis e que agridem menos o meio ambiente.

No campo da construção civil, a utilização de matéria-prima de origem vegetal em substituição aos utilizados reiteradamente pela indústria, como aço e concreto, se apresenta como um caminho promissor.

Dado este panorama, o bambu se apresenta como uma matéria-prima com muita propensão de uso no Brasil, pois, além de ser uma planta bem adaptada aos trópicos, pode ser facilmente manejada e cultivada. Além de ser útil na forma cilíndrica, segundo Beraldo e Pereira (2007), a utilização do bambu processado pode substituir, ou até mesmo evitar, o corte e o uso predatório de florestas tropicais, destacando-se na produção de chapas, painéis, pisos, forros, lambris, dentre outros componentes construtivos.

Para se aplicar um material renovável e pouco poluente como vedação externa em possíveis edificações é imprescindível projetar o seu uso de forma adequada visando garantir boas condições de habitabilidade ao projeto onde ele será utilizado. É com esse planejamento que devem ser solucionados, de forma satisfatória, diversos pontos como funcionalidade, sistema tecnológico, durabilidade, conforto ambiental e correta inserção nos contextos socioeconômico e cultural.

Diante desse cenário, a verificação das condições de aplicação de um sistema de vedação com esta solução tecnológica específica poderá contribuir para uma melhor caracterização do material e de suas potencialidades.

O agravamento de problemas sociais e ambientais como o desemprego, exclusão, poluição, exaustão de recursos naturais, e, a dificuldade dos diversos governos em solucioná-los, suscita os diversos agentes da sociedade a um processo de reorganização em busca de uma postura socialmente mais responsável (COUTINHO e MACEDO-SOARES, 2002). Conforme destaca Dias (2002), o aumento populacional, o consumo em excesso e a displicência com que a sociedade trata o meio ambiente, configuram um estado de declínio da qualidade da experiência humana. De acordo com Farias *et al.* (2017), as áreas consideradas urbanas no Brasil representam menos de 1% do território nacional (0,63%), mas consomem uma enorme quantidade de recursos, visto que concentram 160 milhões de pessoas, ou seja, 84,3% da população brasileira.

A indústria da construção tem um papel decisivo nesse contexto, pois, conforme afirma Priori Júnior (2008), a cadeia produtiva da construção civil, com a incumbência de suprir a necessidade de um local para abrigar o ser humano, absorve cerca de 50% de todos os recursos disponíveis no planeta.

Diante da grande demanda por moradias<sup>1</sup> e de um mercado com uma especulação imobiliária cada vez maior, faz-se necessário a busca de soluções projetuais de baixo custo e boa qualidade, principalmente para populações de baixa renda.

Os materiais de construção convencionais, além de apresentarem um gasto energético de produção significativo, muitas vezes são transportados para locais distantes de onde são produzidos e, dessa forma acabam não chegando a um preço acessível, sobretudo para a camada populacional onde ele seria mais importante.

Tendo em vista este cenário, o bambu apresenta-se como um material de grande potencialidade, visto que, segundo Pereira (2001), realiza fixação de carbono, convertendo-o da fotossíntese em celulose, hemicelulose e lignina, possui crescimento e colheitas rápidas, fibras longas e fortes, elevada

---

<sup>1</sup> O IPEA, por meio da Nota Técnica nº 5, de novembro de 2013, apresentou estimativa que o déficit habitacional brasileiro, em termos relativos, corresponde a 8,53% do total dos domicílios em 2012.

resistência mecânica e mínimo gasto energético, e ainda, apresenta a possibilidade do desenvolvimento de toda uma cadeia industrial a partir de sua utilização. Muitos países como China, Vietnã e Colômbia já tem o uso desta matéria-prima incorporado em sua cultura e o utilizam de diversas formas, como em objetos de artesanato, culinária, produção de papel e celulose, mobiliário, carvão e elementos da construção civil, entre outras aplicações.

Vale destacar que, em 2011, foi sancionada a lei que estabelece a política nacional de estímulo ao manejo sustentado e ao cultivo do bambu. Apesar de a lei definir apenas as diretrizes de forma ampla, ela pode ser considerada um enorme avanço no sentido de regulamentar a produção dessa espécie vegetal e futuramente torná-la mais um importante fator para o desenvolvimento econômico do país.

Em face da procura por um material mais homogêneo e com desempenho mais regular, a laminação do bambu é uma forma de processamento que busca solucionar parte dessas questões, ao uniformizar algumas características como resistência mecânica, estética e durabilidade.

Entretanto, o volume gerado em aparas e serragem durante o corte do colmo de bambu para a produção de ripas é considerável (Tabela 1). Essa quantidade de resíduo é um dado importante a ser mitigado, a fim de tornar cada vez mais eficiente o sistema de produção de um material que tem como uma de suas principais propostas gerar menor impacto no ambiente.

**Tabela 1: Aproveitamento do bambu (*Dendrocalamus asper*) na produção de ripas (Fonte: ALMEIDA *et al.*, 2015).**

	[cm <sup>3</sup> ]	[%]
Volume total de peças de bambu (parede do colmo)	3,79	100
Volume de ripas produzidas	1,043	27,54
Volume gerado em aparas e serragem	2,747	72,46

A industrialização de uma matéria-prima tão promissora pode funcionar como um catalisador da cadeia produtiva nacional ainda bastante incipiente, e assim, quebrar alguns paradigmas que o bambu carrega como o de ser um material culturalmente não confiável e de uso limitado.



**Figura 1: Resíduos provenientes da laminação (Fonte: Arquivo CPAB/UnB)**

Um ponto de extrema relevância ao se propor o uso de produtos oriundos do processo industrial do bambu, como no caso dos painéis de vedação, é o estudo de suas características construtivas, pois estas poderão demonstrar se a manufatura de determinada espécie de bambu em um material composto e com um alto valor agregado pode atender de forma satisfatória exigências relativas à degradação provocada pelas variáveis climáticas.

## **1.1. OBJETIVOS DA PESQUISA**

### **Objetivo geral**

Este trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento higrotérmico de sistema construtivo composto de painel de aglomerado de partículas de bambu por meio da ferramenta computacional WUFI, com vistas ao estímulo da cadeia produtiva de uma matéria-prima de baixo impacto ambiental e com grande potencial de uso.

### **Objetivos específicos**

- a) Verificar a homogeneidade em relação à densidade das placas confeccionadas com partículas de aglomerado de bambu nas diferentes prensagens;
- b) Verificar a homogeneidade em relação ao ganho de massa das placas confeccionadas com partículas de aglomerado de bambu nas diferentes

prensagens de acordo com os resultados dos ensaios de absorção capilar e de permeabilidade ao vapor de água;

## **1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

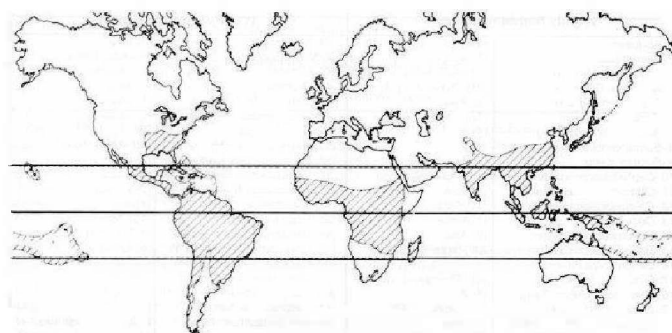
Este trabalho está dividido em 6 (seis) capítulos. O primeiro capítulo, introdução, apresenta a temática em estudo e os objetivos da pesquisa. O capítulo 2, intitulado fundamentação teórica, traz os temas relacionados ao bambu e conceitos sobre chuva dirigida e comportamento higrotérmico. O capítulo 3 é dedicado aos procedimentos metodológicos da dissertação e está subdividido em 3 (três) subcapítulos: materiais e componentes, resultados experimentais e simulação higrotérmica computacional. O capítulo 4 é dedicado à análise dos resultados e discussão. O capítulo 5 é dedicado às considerações finais da dissertação e o capítulo 6 traz as referências que serviram de base para este trabalho.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

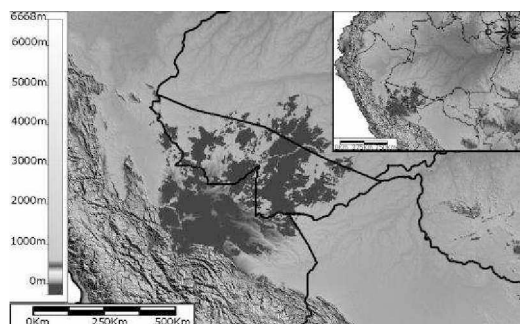
Este capítulo trata da matéria prima objeto de estudo desta dissertação, o bambu. Será apresentado o seu potencial de uso, suas aplicações, os laminados de bambu e os painéis de bambu reconstituído. Em seguida, são descritos os conceitos de chuva incidente na parede das fachadas e do comportamento higrotérmico.

### 2.1. BAMBU: POTENCIAL DE USO NO BRASIL

O bambu é uma planta da família *Poaceae*, com aproximadamente 50 gêneros e 1300 espécies distribuídas, em sua grande parte, nas regiões tropicais e subtropicais (LOPEZ, 2003). No Brasil, a maior parte das espécies é exótica, oriundas de países orientais, com exceção de alguns gêneros como o *Guadua*, que tem sua origem na América e já tem seu uso bastante difundido em países como Colômbia e Equador (PEREIRA, 2001).



**Figura 2:** Área hachurada mostra a distribuição geográfica do bambu antes de 1960 (Fonte: LÓPEZ, 2003, p. 33).



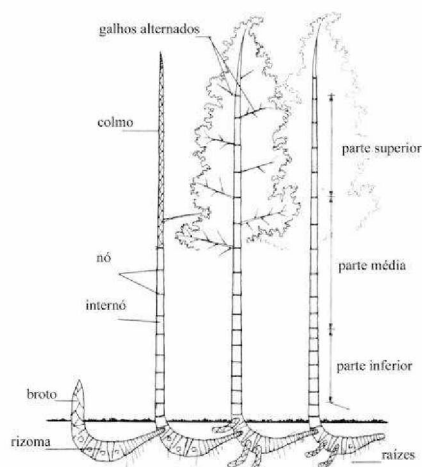
**Figura 3:** Ocorrência de floresta aberta com bambus *Guadua*, no sudoeste da Amazônia (Fonte: SILVEIRA 2006, apud AFONSO, 2011, p. 11).

Essa distribuição geográfica do bambu pelas regiões tropicais tem uma explicação bastante ancorada na velocidade de crescimento da planta, que, pode chegar a 40 cm/dia, no caso do *Dendrocalamus asper*. Conforme destaca Graça (1988), para atingir essa alta velocidade de crescimento, a planta necessita de muita água e, no Brasil, o bambu encontra excelentes condições para se desenvolver mais rápido até que o pinheiro e o eucalipto.

De acordo com Beraldo e Pereira (2007, p. 42):

Traçando-se um paralelo com a cultura do eucalipto, pode-se afirmar que atualmente a cultura do bambu se comporta como a cultura de eucalipto nos anos 1960. No início, a implantação de bosques de eucalipto foi vista com muita desconfiança, e principalmente a proposta, então inédita, para o seu uso na produção de celulose papel. Atualmente, por sua grande importância para o suprimento de matéria-prima para variadas aplicações, a liberação de recursos financeiros para o desenvolvimento de investigações científicas sobre o eucalipto tem alcançado cifras inimagináveis. Poder-se-ia, então, conjecturar sobre a hipótese do grau de desenvolvimento que poderia ser alcançado se apenas uma ínfima parte desses recursos fosse alocada na investigação científica sobre o bambu e no aprimoramento tecnológico de suas múltiplas aplicações.

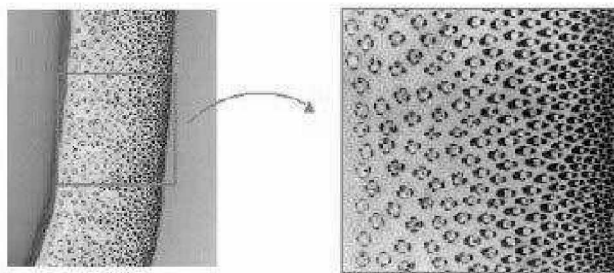
O bambu, no seu aspecto botânico, é composto por alguns elementos aéreos, como o colmo, folhas e ramificações e, outra subterrânea, formada pelo rizoma e a raiz. Quanto ao tipo de rizoma, a planta pode ser dividida em dois grupos: os bambus entouceirantes ou paquimorfos, e os alastrantes ou leptomorfos (SILVA, 2005).



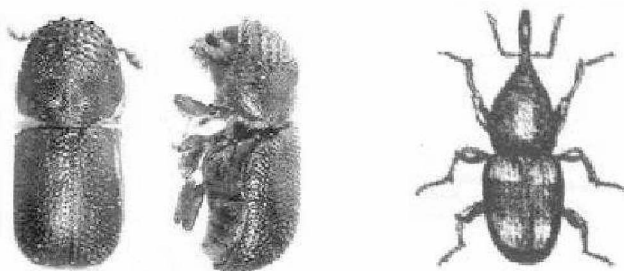
**Figura 4: Partes de um colmo de bambu (Fonte: MOIZES, 2007, p. 29).**



As propriedades do bambu podem ser bastante explicadas pela estrutura anatômica do colmo, que é formada por células axialmente orientadas, os internós, e por células responsáveis pelas interconexões transversais, os nós (LIESE, 1998). O tecido do colmo é composto, aproximadamente, por 50% de parênquima, 40% de fibras e 10% de tecidos condutores. A concentração de parênquima e de vasos condutores é maior na parte interna da parede e na parte externa existem mais fibras. O parênquima, responsável pelo transporte de nutrientes, têm bastante concentração de amido, que atrai insetos e fungos nocivos à planta, como o *Dinoderus minutus* F. e o *Rhinastus latistemus* C. Vale destacar, a grande concentração de sílica presente na casca do colmo que, ao mesmo tempo em que confere grande resistência à peça, é prejudicial a ferramentas de corte por desgastá-las com mais facilidade (JANSSEN, 2000).



**Figura 5: Corte transversal do colmo de *Guadua angustifolia* mostrando a distribuição das fibras (Fonte: GHAVAMI e MARINHO, 2002).**



**Figura 6: *Dinoderus minutus* F. e *Rhinastus latistemus* C. (Fonte: LIESE, 1998, p. 25 e SANTOS, 1986, p. 15).**

A propagação do bambu, conforme explica López (2003), pode ser realizada de maneira sexuada ou assexuada. Entretanto, a primeira forma citada é muito pouco utilizada, devido à dificuldade de obtenção de sementes que são produzidas em florescimentos com intervalos muito longos.

Segundo Beraldo e Pereira (2007), a propagação assexuada pode ser feita por transplante total da planta ou por quatro formas de transplante parcial: o primeiro contendo partes do colmo com raízes e rizomas; o segundo composto por pedaços de colmo contendo gemas; o terceiro composto só por raízes e rizomas e; o quarto composto por ramos laterais contendo duas ou mais gemas. O espaçamento médio para o plantio do bambu de grande porte é de 10 m x 5 m e, para o bambu de menor porte, é utilizado espaçamento de 5 m x 3 m. O bambu atinge a maturidade entre 3 e 6 anos, ou seja, com essa idade está no auge de sua resistência física e mecânica.

Ao se colher uma peça de bambu maduro, é necessário realizar algum processo de maturação para reduzir a quantidade de amido contido nas peças e, assim, torná-las menos suscetíveis ao ataque de insetos. Azzini e Salgado (1994) apresentam três métodos para realizar a maturação. O primeiro consiste na maturação do colmo no próprio local onde foi cortado, permanecendo a peça na posição vertical, sobre algum tipo de suporte, com seus galhos e folhas, de 4 a 8 semanas. O segundo é baseado na imersão em água das peças em torno de 4 semanas e, o terceiro, é a maturação por aquecimento, onde o colmo é colocado em fogo aberto.

Depois da maturação, caso a peça seja usada em sua forma tubular, é necessário que os colmos passem por algum processo de secagem para diminuir a chance de possíveis rachaduras devido às variações dimensionais da peça. Os métodos mais utilizados são: secagem ao ar livre, onde os bambus permanecem em local protegido e ventilado por dois meses; secagem com fogo, que consiste em colocar as peças 50 cm acima da chama, em uma cavidade feita no solo revestido com tijolos para não haver perda de calor e; secagem ao ar quente, onde os colmos são colocados em um armazém com aquecedor solar de ar.

Após a maturação e a secagem, os colmos devem receber algum tratamento de imunização, com a finalidade de proteger as peças contra fungos e insetos e, assim, aumentar sua durabilidade. Conforme Azzini e Salgado (1994), preservativos com base em dois produtos podem ser utilizados para imunizar o bambu, os sais e os óleos. Os principais sais são os cromatos de zinco e de

cobre e, os sais à base de boro. Os óleos mais utilizados são o creosoto, o naftanato, o pentaclorofenol e o neutrol.

Entre os métodos mais utilizados de aplicação dos preservativos, temos:

- a) Método por transpiração, que é a colocação dos colmos em barris durante uma ou duas semanas com a solução preservativa, logo após o corte, sem retirar seus galhos e folhas, para que, a solução seja absorvida devido ao processo de transpiração (JANSSEN, 1995).
- b) Método *Boucherie*, onde é colocado um tubo de borracha hermeticamente fechado na extremidade superior do bambu, por onde é injetada a solução, que preenche a parede do colmo por pressão hidrostática, expulsando a seiva. Para este método, é necessário que os galhos e folhas sejam cortados previamente (AZZINI e SALGADO, 1994).



Figura 7: Método *boucherie* (Fonte: [www.bamboocostarica.com/Immunization.html](http://www.bamboocostarica.com/Immunization.html)).

- c) Método por imersão, que consiste na submersão das peças em algum tipo de reservatório com a solução preservativa (BARBOSA, 1996 apud PEIXOTO, 2008). O tempo do método por imersão varia de acordo com a temperatura em que está a solução. Caso seja colocado em banho frio, as peças devem ficar imersas durante cinco dias. Mas se for utilizado o banho quente, os colmos são imersos durante 1 hora e, rapidamente, são mergulhados na mesma solução a frio por mais 12 horas.
- d) Método por aplicação externa, que é a aplicação da solução na parede externa do colmo. A eficácia não é muito boa, pois, a penetração do produto acontece em pequena quantidade.

## 2.2. APLICAÇÕES DO BAMBU

Os usos e aplicações do bambu são inúmeros e, a cada etapa do desenvolvimento da planta, é oferecido por ela uma ou mais opções de utilização. Conforme descreve López (2006), quando o colmo ainda está em fase inicial de crescimento, de seis meses a um ano, ele pode ser utilizado para confecção de lascas para cestaria e artesanato. No segundo ano, já é viável a produção de esteiras e chapas e, a partir do terceiro ano, o bambu pode ser utilizado em construções, mobiliário e ripados em geral.

Outra forma de utilização do bambu, já bastante difundida, é na produção de papel e celulose. Conforme explica Salgado (2006), devido à estrutura morfológica de suas fibras, que proporcionam alta resistência e baixa porosidade, o bambu é uma ótima matéria-prima a ser utilizada para este fim. No Brasil, o Grupo Industrial João Santos é um exemplo de empresa que, já utiliza o bambu para fabricar produtos como sacolas, cartões e embalagens.

A utilização na produção de carvão também é uma forma de aplicação bastante promissora, pois, além do poder calorífico do bambu ser semelhante ao das espécies normalmente usadas para este fim, como o *Pinus* e o *Eucaliptus*, a sua capacidade de renovação é superior (RIBEIRO, 2005), o credenciando como uma importante fonte renovável de energia.

Alimentos a base de bambu também já são encontrados com muita frequência, desde o broto, que tem o seu processo produtivo bastante similar ao do palmito, até cervejas, vinagres, óleos, entre outros produtos.

Ainda podemos citar o uso do bambu na indústria têxtil, farmacêutica e medicinal, mesmo que incipientes no Brasil, mas já bem desenvolvidas nos países asiáticos. Conforme as formas de utilização do bambu descritas por Beraldo e Pereira (2007), na figura 8, podemos observar alguns dos seus usos e, verificar outra maneira bastante significativa de trabalhar essa planta tão versátil, que é a laminação.

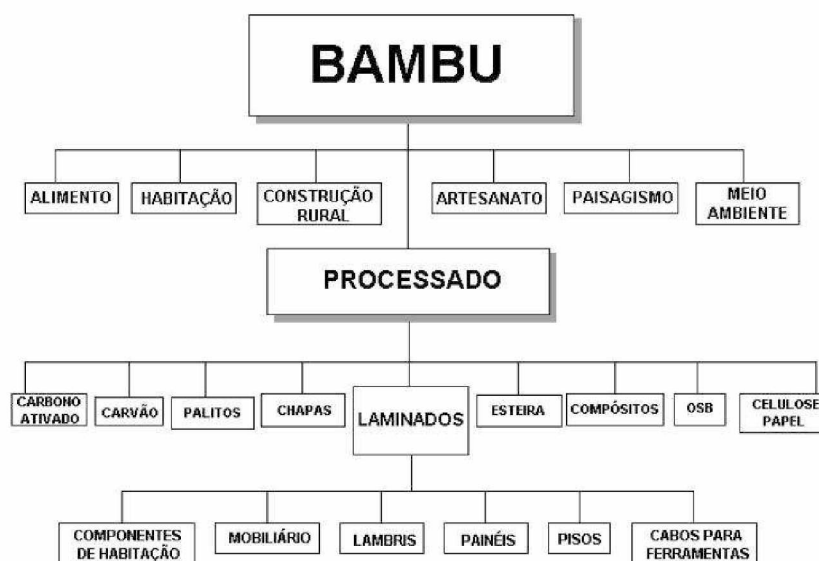


Figura 8: Possibilidades do uso do bambu (Fonte: BERALDO e PEREIRA, 2007, p. 155).

### 2.3. OS LAMINADOS DE BAMBU

As aplicações do bambu *in natura*, já apresentadas neste estudo, demonstram a enorme potencialidade que apresenta este material. Entretanto, conforme afirma Lopez (2003), um dos desafios para a plena utilização do bambu como material de construção, em sua forma tubular, é a ligação entre peças de diferentes espessuras, diâmetros e alturas. Esse fator, ainda é um grande obstáculo diante de normatizações de abrangência restrita e que, de forma equivocada acabam por excluir construções de caráter artesanal. O uso do bambu processado pode vir a aumentar consideravelmente o campo de suas aplicações, pois soluciona de forma satisfatória essa questão.

Vale destacar que, para estimular uma cadeia produtiva de um material ainda tão pouco experimentado no Brasil, é imprescindível que haja um conhecimento aprofundado de suas características. Segundo MARÇAL (2018), a ausência de normas específicas para o bambu é um grande obstáculo para o seu desenvolvimento como material de construção. As pesquisas sobre bambu utilizam as normas elaboradas para a madeira, que, apesar de ter alguma similaridade, são matérias-primas distintas, o que impossibilita a determinação das propriedades do material com exatidão.

Com o objetivo de se manter a durabilidade e as características pertinentes ao bambu, mesmo após a laminação, é necessário seguir os procedimentos apresentados anteriormente, como a escolha correta da espécie, os cuidados com a colheita, processos de secagem, imunização, entre outros que são aplicados para o formato tubular.

Os laminados de bambu, já amplamente utilizados em países como China e Japão, ainda tem seu uso pouco disseminado no Brasil, principalmente, por causa da ausência de equipamentos específicos para realizar a laminação.

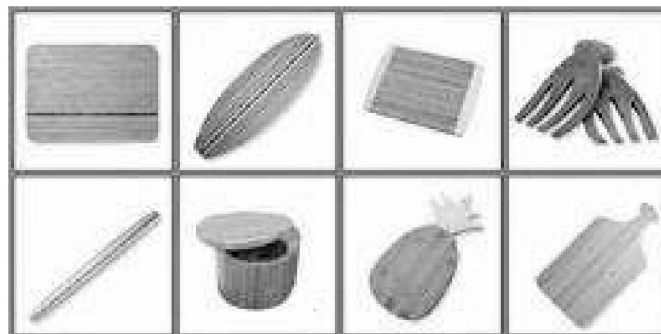
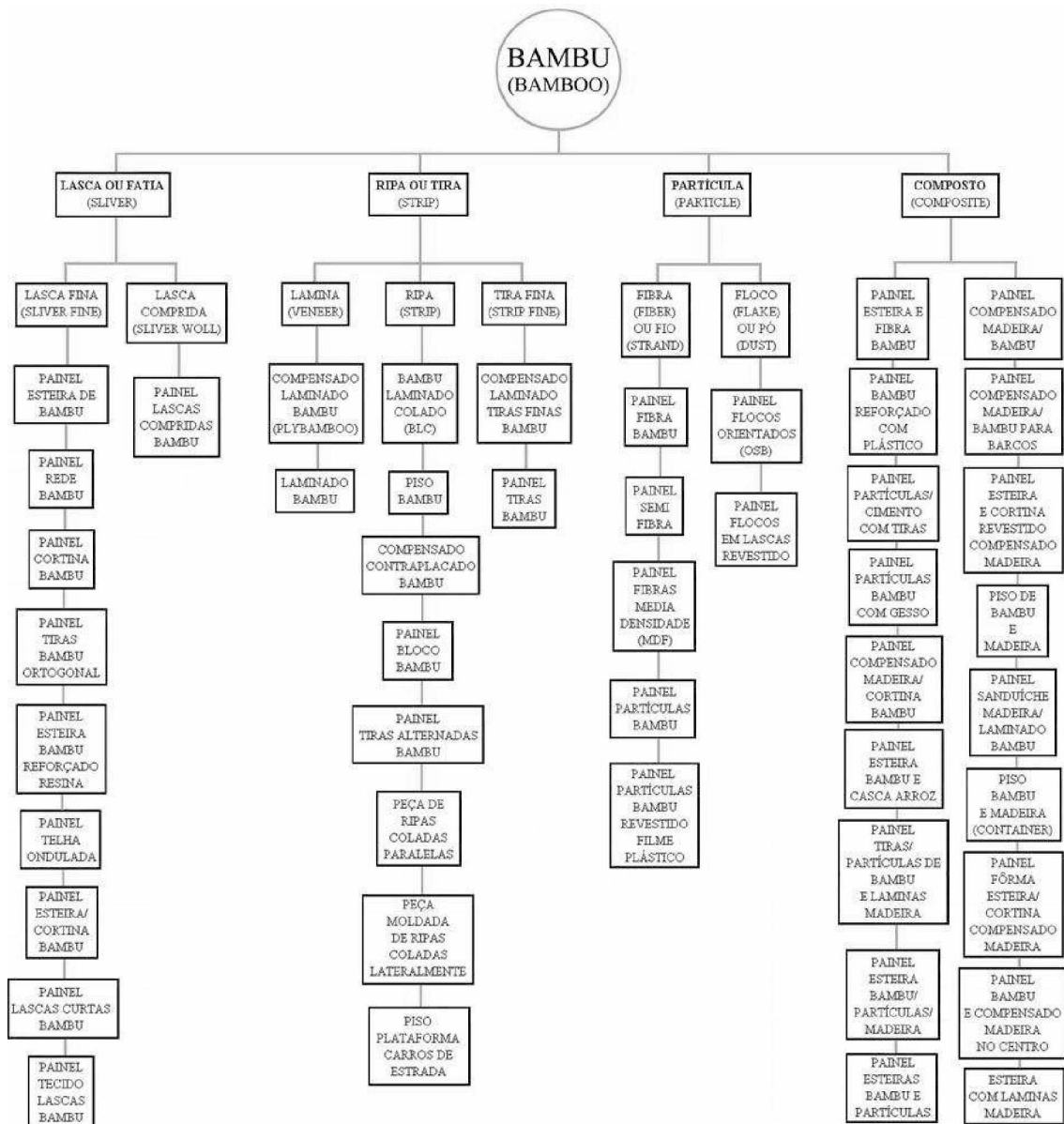


Figura 9: Produtos de bambu laminado colado (Fonte: [www.go-green.ae](http://www.go-green.ae)).

## 2.4. PAINÉIS DE BAMBU RECONSTITUÍDO

O uso de painéis de bambu reconstituído como componente construtivo apresenta grandes possibilidades de desenvolvimento local e regional, pois, sua facilidade de confecção, além de ser uma solução viável para populações de baixa renda, pode proporcionar a implantação de uma tecnologia mais limpa e renovável.

Segundo Qisheng e Shenxue (2001), os painéis de bambu podem ser divididos de acordo com o formato e o tamanho do material utilizado no seu processo de confecção, que podem ser tiras ou ripas de bambu (*Strips*), lascas ou fatias finas de bambu (*Sliver*) e Partículas (*Particles*), além dos painéis compostos.



**Figura 10: Organograma com os painéis de bambu reconstituído encontrados comercialmente (Fonte: MOIZÉS, 2007, p. 48).**

O grupo de painéis de partículas pode ser definido como um material formado por fibras ou flocos de bambu de várias dimensões, impregnados de resinas sintéticas (adesivos industrializados) ou naturais, prensadas sob a ação do calor.

## **Aglomerado de Partículas de bambu**

De acordo com os resíduos gerados durante o processo de laminação, foi definido que o painel a ser utilizado nas vedações verticais seria o aglomerado de partículas de bambu.

Conforme metodologia aplicada por Valarelli (2009), os resíduos provenientes do processo de laminação dos trechos de colmo de bambu, devem ser separados em duas faixas de granulometria, através de peneiras com a malha de dimensões de 1,2 mm (partículas finas) e 4,0 mm (partículas grossas).

Segundo José (2006), para se produzir chapa de partículas mais rígidas, resistentes à flexão e com maior estabilidade dimensional, é necessário empregar partículas mais finas, entretanto, para alcançar uma maior resistência à tração perpendicular, seria necessário o uso de partículas mais espessas.

A combinação entre partículas de diferentes dimensões determina a classificação dos painéis, os quais podem ser caracterizados como homogêneos ou heterogêneos (múltiplas camadas).

Uma composição do peso das partículas nas chapas bastante comum é de 20% das finas e 80% das grossas. Após a quantificação, as partículas devem passar por algum processo de secagem, até atingirem teores próximos a 3%.

Assim que estiver pronta, a mistura das partículas deve ser homogeneizada para receber adesivos que podem ser de origem natural (à base de caseína, mamona, tanino) ou de origem sintética (à base de uréia, resorcinol, fenol, polivinil), em determinada proporção em relação ao peso do material seco. Vale destacar a importância da busca por resinas menos poluentes e que possuam uma resistência ao calor e a umidade satisfatória.

Com o adesivo, o material vai para um misturador por tempo suficiente para distribuir a resina na superfície das partículas e, onde podem ser adicionado aditivos como a parafina, com a finalidade de aumentar a resistência à umidade e reduzir o inchamento e catalisadores, como o sulfato de amônia, para proporcionar maior estabilidade dimensional (HEEBINK, 1967 apud WEBER,



2011).

Após esta etapa, a mistura deve passar por uma pré-prensagem em uma caixa com as dimensões correspondentes ao painel finalizado, com exceção da espessura, para reduzir os espaços de ar e evitar perdas de partículas durante o deslocamento até a prensa.

Enfim, o colchão de partículas deverá passar pela etapa mais importante do processo de produção do painel de partículas, a prensagem. A temperatura da prensa deve ser definida em função da resina utilizada. O tempo de prensagem deve fazer com que o interior do painel alcance temperatura suficiente para que aconteça a polimerização da resina. Deve-se aplicar uma pressão de aproximadamente 4,0 MPa até o prato da prensa tocar os espaçadores que delimitam a espessura do painel. Depois o painel descansa por 72 horas para completar a cura da resina (VALARELLI, 2009).

## **2.5. CHUVA INCIDENTE NA PAREDE DAS FACHADAS**

O excesso de umidade nas vedações da fachada é um fator decisivo para o surgimento de patologias nos edifícios. A garantia de boas condições de proteção está diretamente ligada à escolha dos materiais e de que forma eles serão aplicados na construção.

De acordo com Bauer (1987), a chuva por si só, atuando como um elemento vertical, não interfere de forma significativa no aumento da umidade das paredes. Porém, a partir da influência dos ventos ela é projetada horizontalmente e acaba por deixar a fachada molhada. Conforme a atuação do vento pode-se inferir que, não necessariamente regiões com maior incidência de chuva irão gerar maior intensidade de patologias nas edificações.

Esta chuva em conjunto com a ação dos ventos é denominada chuva dirigida ou *driving rain* em inglês e, segundo Straube (2002), é considerada o agente principal da degradação dos elementos construtivos nas fachadas das edificações.

A intensidade da chuva dirigida é regulada por inúmeros parâmetros como a

geometria urbana, a forma e altura do edifício, a orientação e os detalhes construtivos da fachada, o tamanho, a distribuição e a velocidade das gotas de chuva, além de todos os parâmetros meteorológicos relevantes, tais como a intensidade da precipitação e a velocidade e direção do vento (ZANONI, 2015).

Em razão do grau de relevância que a chuva dirigida tem na umidificação das fachadas, a compreensão dos seus mecanismos e suas implicações se faz necessária. Ela pode ser caracterizada a partir de três métodos: os métodos experimentais, os métodos semi-empíricos e os métodos numéricos (BLOCKEN; CARMELIET, 2010).

Sobre o método semi-empírico utilizado pelo programa computacional WUFI, Zanoni (2015) descreve que, com as informações de um arquivo climático, o *software* obtém dados de precipitação, velocidade e direção do vento para alimentar a equação 1 e, assim, gerar a quantidade anual de chuva incidente para cada orientação de fachada.

$$R_{wdr} = R_h ( R_1 + R_2 \cdot V_{10} \cos \theta ) \quad (1)$$

Em que:

$R_{wdr}$	Intensidade de chuva dirigida [mm/h];
$R_h$	Precipitação em superfície horizontal [mm/h];
$R_1$	Coeficiente que depende do tipo de elemento construtivo [-];
$R_2$	Coeficiente que depende da localização na fachada [s/m];
$V_{10}$	Velocidade do vento de referência a 10 m acima do solo [m/s];
$\theta$	Ângulo entre a direção do vento e a normal à parede [°].

## 2.6. COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO

A verificação das manifestações patológicas causadas pela variação de calor e umidade proveniente das chuvas e outros agentes climáticos é imprescindível para a validação de materiais que porventura sejam aplicados na fachada das

edificações.

O processo de transporte de calor e massa através da superfície porosa da envoltória da edificação ocorre sempre que houver uma diferença de temperatura e umidade, acontecendo de forma simultânea e interdependente (ZANONI, 2015).

Freitas (2011) diz que as características exteriores da parede são decisivas no ganho de umidade do elemento construtivo. De acordo com o coeficiente de absorção à água, que é umas das propriedades higrotérmicas dos materiais, o processo de embebição poderá ser mais rápido ou mais lento.

Outro exemplo do caráter determinante dessas propriedades é a variabilidade de teor de umidade dos materiais que, à medida que se eleva, aumenta também a condutibilidade térmica do elemento construtivo, tornando a fachada mais permeável ao calor.

Nesse contexto, o estudo do comportamento higrotérmico das fachadas dos edifícios que estão sujeitas à solicitação climática exterior, bastante variável, e a condições mais estáveis no interior, é de suma importância para a correta caracterização desses elementos.

Conforme apontam Delgado *et al.* (2008), vários *softwares* utilizados na área de materiais de construção porosos têm incorporado e desenvolvido diferentes modelos de transferência simultânea de calor e umidade. Os autores destacam que o funcionamento dos programas e a fidelidade dos resultados dependem da qualidade e disponibilidade dos dados de entrada referente às propriedades dos materiais e características do clima.

Dentre os diversos *softwares* existentes, o programa de cálculo WUFI (*Wärme Und Feuchte Instationär*) desenvolvido na Alemanha pelo *Fraunhofer Institut für Bauphysik* (IBP) apresenta uma considerável validação experimental. Segundo Santos (2017), o WUFI é um *software* para simulação da transferência de umidade e calor em elementos de construção, que permite simulações em regime dinâmico e estudos de sensibilidade sobre composição, propriedades higrotérmicas dos materiais e condições climáticas.

No cálculo da progressão da temperatura e do teor de umidade ao longo do tempo nas camadas que constituem o elemento construtivo, os processos de transporte de umidade considerados pelo programa são a difusão (vapor de água) e a capilaridade (água líquida). Já para o transporte de calor são levados em conta a condução, a radiação (solar e de ondas longas), a entalpia e o arrefecimento noturno (COELHO, 2015).

No que diz respeito às propriedades dos materiais, os dados de entrada do programa estão separados em propriedades básicas, que são indispensáveis para executar a simulação, e em propriedades complementares, que não são imprescindíveis, mas que, se forem informadas, podem tornar os resultados mais genuínos.

As propriedades básicas são a densidade [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ], a porosidade [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ], o calor específico do material seco [ $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ], a condutibilidade térmica do material seco [ $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ] e o fator de resistência à difusão de vapor [-]. As propriedades complementares são a curva de retenção (adsorção), o coeficiente de difusividade hídrica para a sucção e redistribuição [ $\text{m}^2/\text{s}$ ], a condutibilidade térmica [ $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ] e o fator de resistência à difusão de vapor em função da umidade relativa [-].

Para simular o comportamento higrotérmico o programa também exige que seja definida qual é a orientação do elemento construtivo, a sua inclinação em relação ao solo, a altura da edificação e os coeficientes de chuva incidente na fachada que, no caso do modelo WUFI, são os valores de  $R_1$  e  $R_2$  (Tabela 2).

**Tabela 2: Valores de  $R_1$  e  $R_2$  (Fonte: WUFI).**

Inclinação da fachada	$R_1$	Altura do edifício	$R_2$
90°	0	Edifício baixo até 10m	0,07
		Edifício alto, zona inferior até 10m	0,05
		Edifício alto, zona intermediária entre 10 e 20m	0,1
		Edifício alto, zona superior acima de 20m	0,2
Outras inclinações	1	Qualquer altura	0

Outro dado de entrada do programa são os coeficientes de transferência à superfície, que fazem referência à transferência de calor e umidade na interface material/ar. Conforme diz Santos (2017), esses coeficientes são uma

forma de estabelecer em que medida o ambiente exterior e interior podem afetar as condições higrotérmicas das fachadas.

Para a superfície exterior devem ser indicados os seguintes parâmetros:

- a) Resistência térmica superficial (definida pelo utilizador ou pré-definida em função do tipo de elemento construtivo), que pode ser ou não dependente do vento;
- b) Espessura da camada de ar de difusão equivalente dos revestimentos ( $S_d$ ) que é um valor expresso em metros e que permite caracterizar materiais cuja única informação pertinente é a sua resistência à difusão de vapor de água (COELHO, 2015);
- c) Coeficiente de absorção solar ( $\alpha_s$ ) tem relação direta com a cor e o tipo de material aplicado na superfície;
- d) Emissividade da superfície é a relação entre a radiação emitida pela superfície real e a radiação emitida por um corpo negro à mesma temperatura e depende do tipo de superfície (FREITAS, 2011);
- e) Fator de absorção da água da chuva que, de acordo com a rugosidade, a orientação, a inclinação do elemento e a natureza da precipitação, pode-se considerar que uma parte da chuva incidente que chega à fachada não será absorvida (SANTOS, 2017).

Para a superfície interior é necessário indicar a resistência térmica e a espessura da camada de ar de difusão equivalente ( $S_d$ ).

As condições iniciais de temperatura e umidade relativa também são necessárias para iniciar a simulação e podem ser definidas com base nas informações contidas no arquivo climático.

Em relação ao período de cálculo, para a análise do comportamento higrotérmico, o intervalo de tempo mínimo de simulação recomendado é de 26.280 horas, pois, somente a partir do terceiro ano que o programa gera simulações do material estabilizado e com menor risco de apresentar distorções.

A condição climática da região onde a edificação simulada será inserida é de

suma importância para o estudo higrotérmico de seus elementos construtivos. Os dados climáticos externos exigidos pelo programa em valores horários são: velocidade do vento [m/s], direção do vento a partir do norte [°], precipitação incidente numa superfície horizontal [mm], pressão atmosférica [hPa], temperatura do ar [°C], umidade relativa do ar [%], Radiação solar global ou direta incidente num plano horizontal [W/m<sup>2</sup>], radiação solar difusa incidente num plano horizontal [W/m<sup>2</sup>] e radiação de onda longa emitida pela atmosfera incidente num plano horizontal [W/m<sup>2</sup>]. Os dados do clima interior podem ser quantificados a partir do clima exterior.

Com todas essas informações em vista, o comportamento higrotérmico de um elemento construtivo pode ser analisado a partir de diversos parâmetros disponibilizados pelo programa WUFI, conforme lista da tabela 3.

**Tabela 3: Lista dos parâmetros disponibilizados pelo WUFI (Fonte: COELHO, 2015).**

Parâmetro	Unidade	Localização
Chuva incidente	[l/m <sup>2</sup> .h]	Referente à superfície do elemento construtivo correspondente ao clima exterior
Radiação solar	[W/m <sup>2</sup> ]	
Radiação solar direta	[W/m <sup>2</sup> ]	
Radiação solar difusa	[W/m <sup>2</sup> ]	
Radiação solar refletida	[W/m <sup>2</sup> ]	
Temperatura	[°C]	Referente ao clima exterior, ao clima interior e aos pontos de monitorização adotados
Umidade relativa	[%]	
Fluxo de calor	[W/m <sup>2</sup> ]	Referente às superfícies do elemento construtivo e às interfaces entre as camadas que o constituem
Fluxo de umidade	[kg/m <sup>2</sup> .s]	
Fluxo de difusão	[kg/m <sup>2</sup> .s]	
Fluxo capilar	[kg/m <sup>2</sup> .s]	
Fontes de calor	[W/m <sup>2</sup> ]	Referente à zona adotada pelo usuário
Fontes de umidade	[kg/m <sup>2</sup> .s]	
Teor de água – volume	[kg/m <sup>3</sup> ]	Valor médio referente a cada camada que constitui o elemento construtivo
Teor de água - área	[kg/m <sup>2</sup> ]	Valor médio referente ao elemento construtivo
Pressão atmosférica	[hPa]	Referente ao clima exterior
Pressão parcial de vapor de água	[hPa]	Referente aos pontos de monitorização adotados
Coeficiente de transferência de vapor de água para gradiente de pressão	[kg/m <sup>2</sup> .s.Pa]	Referente ao clima exterior e ao clima interior
Condutância térmica	[W/m <sup>2</sup> .K]	

## **2.7. ENSAIOS LABORATORIAIS DE PARÂMETROS HIGROTÉRMICOS**

Para a inserção de dados de entrada na simulação numérica e, posterior avaliação do comportamento higrotérmico do painel de bambu nos diferentes contextos existentes, foi realizado a determinação laboratorial de 2 propriedades essenciais que condicionam a capacidade de armazenamento de umidade, descritas a seguir.

### **Absorção capilar**

Pode-se definir o nível de porosidade de um material como sendo a razão entre o volume total de vazios existentes (poros) no interior de sua massa e o volume total aparente (SANTOS, 2017).

Segundo Gonçalves (2007), os poros são divididos em microporos para raios inferiores a  $0,1\mu\text{m}$  (sem influência no transporte da umidade pelo seu tamanho reduzido), mesoporos com raios entre  $0,1\mu\text{m}$  e  $30\mu\text{m}$  (possibilitando o transporte da água líquida e do vapor) e macroporos que apresentam um importante papel no transporte de vapor por apresentar raios superiores a  $30\mu\text{m}$ .

A porosidade pode apresentar-se de forma aberta (poros interligados) ou fechada (poros isolados). O fenômeno de progressão da água através deles é denominado absorção capilar. Freitas (2008) diz que os materiais com porosidade aberta conduzem mais água por capilaridade quanto menor for o diâmetro dos seus poros.

Conforme descreve Santos (2017), a altura da ascensão capilar estabiliza quando as forças que causam a sucção (pressão capilar) são equilibradas pelo peso da coluna d'água.

O coeficiente de absorção de água é uma propriedade que influencia de forma relevante o comportamento higrotérmico do material.

Para a realização dos ensaios foi seguido o procedimento definido pela norma

européia EN ISO 15148:2002 *“Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of water absorption coefficient by partial immersion”* (ISO, 2002).

O princípio do ensaio consiste em determinar a absorção de água por meio de imersão parcial. Para isso, são realizadas medições para acompanhar as mudanças de massa do corpo-de-prova que está com parte do seu volume submerso, ao longo de um período de pelo menos 24 horas.

A área mínima dos corpos-de-prova (comprimento x largura) em contato com a água deve ser de 50 cm<sup>2</sup>, sendo que áreas de 100 cm<sup>2</sup> produzem resultado com maior precisão. A espessura deve ser a mais próxima de representar o material sendo que, para materiais não homogêneos, essa espessura deve ser no mínimo cinco vezes o tamanho do maior agregado e preferencialmente dez.

O número de amostras deve totalizar uma área mínima de 300 cm<sup>2</sup>. Caso a área individual de cada corpo-de-prova seja maior que 100 cm<sup>2</sup>, são necessários um número mínimo de três amostras e, para áreas menores que 100 cm<sup>2</sup>, utiliza-se o mínimo de seis amostras.

O teste deve ser realizado em câmara climática que proporcione temperatura entre 18° e 28° C e, umidade relativa entre 40 e 60%.

Após os corpos-de-prova serem estabilizados apresentando mudança de massa menor ou igual a 0,1% de sua massa total, eles são impermeabilizados nas suas faces laterais para que se obtenha um fluxo unidirecional e em seguida mergulhados numa tina com água, mantendo sua base com aproximadamente 5±2 mm de imersão.

A partir desse momento são realizadas pesagens seguindo uma escala logarítmica que acontece aos 5, 20, 60, 120, 240, 360 e 1440 minutos. Caso os corpos de prova não tenham alcançado mudanças de massa menor ou igual a 0,1% em sucessivas pesagens, continua-se com as pesagens de 24 em 24 horas até a estabilidade.

O coeficiente de absorção é determinado a partir da relação linear entre a variação do tempo e a variação do peso dos corpos-de-prova, conforme



mostrado na equação 2.

$$m_w = A \cdot t^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Em que:

$m_w$  Quantidade de água absorvida [kg/m<sup>2</sup>]

$A$  Coeficiente de absorção de água [kg/m<sup>2</sup>s<sup>1/2</sup>]

$t$  Tempo [s]

Se não existir nenhuma relação linear, a determinação capilar será efetuada com os valores registrados às 24h expresso nas unidades kg/m<sup>2</sup>s<sup>1/2</sup>.

### **Permeabilidade ao vapor de água**

Segundo Freitas e Pinto (1998), a permeabilidade ao vapor de água é uma propriedade definida como a quantidade de vapor que atravessa determinada unidade de superfície de um material sob o efeito de uma diferença de pressão entre as suas faces.

O grau de permeabilidade de um material varia de acordo com a sua porosidade (LANZINHA E FREITAS, 1998). Em termos de fatores externos, a pressão atmosférica e a temperatura do ar também podem influenciar este parâmetro.

Para este ensaio foi adotado o procedimento definido pela norma europeia “EN ISO 12572-2001 *“Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of water vapour transmission properties”*”. (ISO, 2001).

Para a determinação desta propriedade, a norma apresenta dois métodos experimentais conhecidos como Método da tina seca (*Dry cup*) para umidade relativa entre 0 e 50% e Método da tina úmida (*Wet cup*) para umidade relativa entre 50 e 100%.

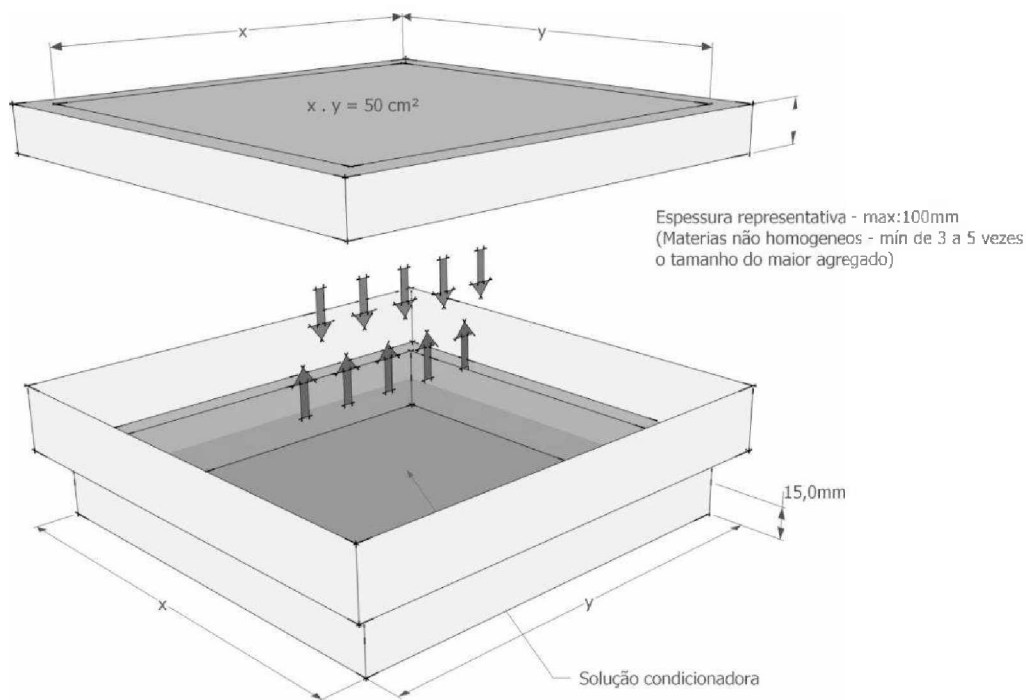
Primeiramente, os corpos de prova são estabilizados a uma temperatura de 23°C (com variação permitida de  $\pm 5^\circ$ ) e a uma umidade relativa de 50% (com variação permitida de  $\pm 5\%$ ). A estabilização requerida acontece quando as variações em pesagens sucessivas apresentam mudança de massa menor ou igual a 5% de sua massa total.

Na sequência, os corpos de prova são pesados isoladamente e depois colocados em tinas com dissecantes (Tina seca) ou soluções aquosas (Tina úmida). Na tabela 4 temos exemplos de algumas dessas soluções condicionadoras e a umidade relativa do ar especificamente a 23°C.

**Tabela 4: Soluções condicionadoras (Fonte: EN 12572)**

Dissecantes	UR – 23°C
Cloreto de cálcio, $\text{CaCl}_2$	0%
Perclorato de magnésio, $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$	0%
Sílica-gel, $\text{SiO}_2$	5%
Soluções aquosas	UR – 23°C
Nitrato de magnésio, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	53%
Nitrato de magnésio, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	85%
Di-hidrogenofosfato de amônia, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	93%
Nitrato de potássio, $\text{KNO}_3$	94%

A área mínima dos corpos-de-prova (comprimento x largura) exposta à solução condicionadora deve ser de 50 cm<sup>2</sup>. A espessura deve ser a mais representativa do material (máxima de 10 cm) sendo que, para materiais não homogêneos, ela deve ser no mínimo de três vezes o tamanho do maior agregado e, caso seja possível, cinco vezes o tamanho.



**Figura 11: Representação esquemática do ensaio de permeabilidade ao vapor de água (Fonte: Desenho do autor)**

O nível mínimo que a solução deve ter de profundidade é de 15 mm e a altura da camada de ar entre o corpo de prova e a solução também deve ser de 15 mm, podendo variar 5 mm para mais ou para menos.

O número de amostras caso a área de exposição individual de cada corpo-de-prova seja maior que 200 cm<sup>2</sup> é de no mínimo três e, para áreas menores que 200 cm<sup>2</sup>, recomenda-se o mínimo de cinco amostras.

O teste deve ser realizado em câmara climática que proporcione temperatura de 23° C e umidade relativa de 50%.

A partir do momento que os corpos de prova são colocados nas tinas e selados, são realizadas pesagens diárias até alcançar cinco mudanças de massa sucessivas dentro de 5% do valor médio da massa de cada amostra.

O fluxo de difusão do vapor é determinado a partir da variação da massa em função do tempo, conforme mostrado na equação 3.

$$\Delta m_{12} = \frac{m_2 - m_1}{t_2 - t_1} \quad (3)$$

Em que:

$\Delta m_{12}$  Fluxo de difusão do vapor de água [kg/s]

$m_1$  Massa do conjunto em  $t_1$  [kg]

$m_2$  Massa do conjunto em  $t_2$  [kg]

$t_1$  e  $t_2$  Intervalo de tempo [s]

A constante obtida a partir da relação entre massa e tempo, excluindo estágio não linear, é a variável G na equação de Densidade de fluxo de difusão de vapor de água da Tabela 5. A partir disso, é possível encontrar as variáveis necessárias para obter as demais propriedades relacionadas à permeabilidade.

**Tabela 5: Propriedades relacionadas à permeabilidade (Fonte: EN 12572).**

Propriedade	Unidade	Equação
Densidade de Fluxo de Difusão de Vapor de Água	(kg/m <sup>2</sup> .s)	$g = \frac{G}{A}$
Permeância ao Vapor de Água	(kg/m <sup>2</sup> .s.Pa)	$W = \frac{G}{A \cdot \Delta p_v}$
Permeabilidade ao Vapor de Água	(kg/(m.s.Pa))	$\delta_p = W \cdot d$
Permeabilidade ao Vapor de Água do Ar	(kg/(m.s.Pa))	$\delta_{ar} = \frac{0,08 \cdot p_0}{R_v \cdot T \cdot p} \cdot \left(\frac{T}{273}\right)^{1,81}$
Fator de Resistência à Difusão de Vapor de Água	(-)	$\mu = \frac{\delta_{ar}}{\delta_p}$

### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para este trabalho de dissertação, foram determinadas algumas propriedades higrotérmicas do painel de aglomerado de partículas de bambu, por meio de experimentos laboratoriais de absorção por capilaridade e permeabilidade ao vapor de água. Os resultados obtidos foram utilizados para alimentar o programa de simulação numérico WUFI 6.1 que, por sua vez, gerou dados de saída que permitiu elaborar um prognóstico do comportamento desse sistema de vedação composto por placas de bambu de acordo com a umidade e a temperatura ao longo do tempo, conforme apresentado nos fluxogramas com as etapas do trabalho (Figuras 11 e 12).

Em relação à base de dados climáticas solicitadas pelo programa, a fim de analisar o desempenho desse elemento construtivo em um território com características ambientais tão diferentes e determinantes como o Brasil, faz-se necessária a utilização de registros que apresentem uma fundamentação consistente acerca das diversas peculiaridades referente aos climas locais.

Para isso, foram utilizados arquivos climáticos de cidades correspondentes ao zoneamento bioclimático publicado na NBR 15220 (ABNT, 2003), que divide o país em zonas bioclimáticas relativamente homogêneas, em função de aspectos relacionados à temperatura, umidade e altitude das cidades.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro - LPF/SFB com insumo cedido pelo Centro de Pesquisa e aplicação de Bambu e Fibras Naturais – CPAB/UnB.

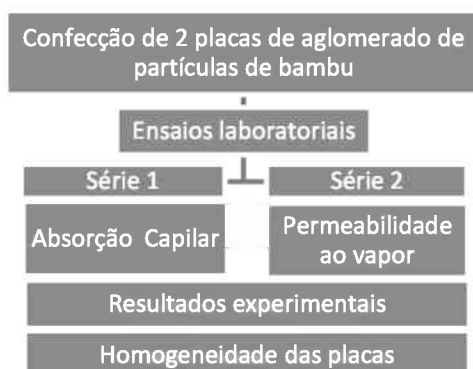


Figura 12: Fluxograma com a 1ª etapa do trabalho.



Figura 13: Fluxograma com a 2ª etapa do trabalho.

### 3.1. MATERIAIS E COMPONENTES

Neste capítulo serão apresentados os resultados da confecção das 4 (quatro) séries de corpos de prova.

#### Confecção dos corpos de prova – Séries 1 e 2

Os resíduos provenientes do processo de laminação dos trechos de colmo do bambu da espécie *Dendrocalamus asper* foram divididos em dois tamanhos de grãos: os que passaram através da peneira com malha de dimensões de 4,0 mm (partículas grossas) e os que passaram pela peneira de abertura de 1,18 mm (partículas finas).



Figura 14: Montagem das peneiras



Figura 15: Agitador de partículas

A composição do peso das partículas para a confecção dos painéis foi de 30% das finas e 70% das grossas. Após a determinação do teor de umidade das partículas de 8,62%, foi quantificado o peso de 1,000 kg por chapa necessário para produzir duas chapas nas dimensões de 350 mm x 350 mm x 10 mm de densidade 0,75 g/cm<sup>3</sup>.

Tabela 6: Configuração das chapas

<b>Tratamento:</b>	Tanino formaldeído (PHENOTAN AG)
<b>Tipo de partícula:</b>	<i>Dendrocalamus asper</i> - 30% part. finas (1.88mm) e

	70% part. Grossa (4mm)
Umidade da partícula (%):	8,62 (Média ponderada - Fina: 9,20 e Grossa: 8,37)
Quantidade de resina (%):	10
Quantidade de sólidos da resina(%):	46,84
Densidade da chapa (g/cm <sup>3</sup> ):	0,75
Largura da chapa (cm):	35
Comprimento da chapa (cm):	35
Espessura da chapa (cm):	1
Perda prevista (%):	10

Tabela 7: Preparação do colchão

		Quantidade considerando a perda prevista		
		100%	30%	70%
Volume da chapa (cm <sup>3</sup> ):	1225	1225	367,5	857,5
Peso da chapa seca (g):	919	919	275,6	643,1
Peso das partículas secas (g):	835	919	275,6	643,1
Peso de sólidos da resina (g):	84	92	27,56	64,31
Peso de resina (g):	178	196,15	58,84	137,30
Peso das partículas úmidas (g):	907	997,95	299,38	698,56
Peso do colchão (g):	1086			

Tabela 8: Prensagens

Chapa #1	
Altura do colchão (cm):	5,3
Tempo de prensagem (min):	3
Temperatura de prensagem (°C):	160
Pressão de prensagem (Kg/cm <sup>2</sup> ):	44
Umidade do colchão (%):	15,03
Densidade da chapa (g/cm <sup>3</sup> ):	0,77
Chapa #2	
Altura do colchão (cm):	5,7
Tempo de prensagem (min):	3
Temperatura de prensagem (°C):	160
Pressão de prensagem (Kg/cm <sup>2</sup> ):	40
Umidade do colchão (%):	15,14
Densidade da chapa (g/cm <sup>3</sup> ):	0,78





**Figura 16: Balança determinadora de umidade**

Para o preparo do adesivo à base de tanino-formaldeído, na proporção de 10% em relação ao peso do material seco, foi realizada a mistura do extrato de Acácia Negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) - PHENOTAN AG (ANEXO I) com água na proporção de 50% de cada componente até atingir o peso total de resina necessária. Com o tanino diluído, foi acrescentado o formaldeído na quantidade de 10% em relação ao peso do adesivo.

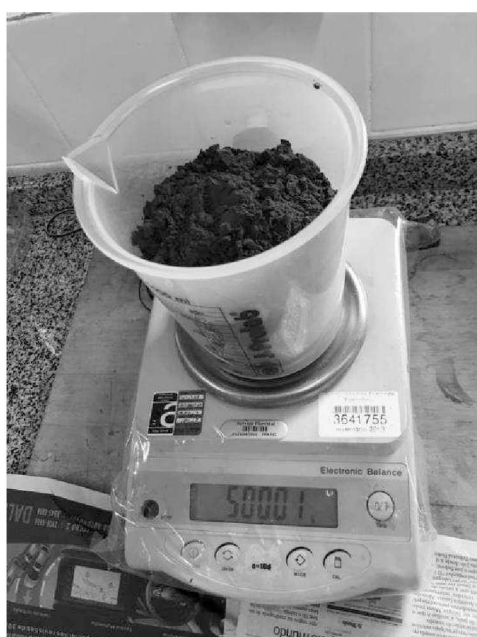
**Tabela 9: Teste de viscosidade**

Viscosidade da resina TF01 (PHENOTAN AG)					
Pequenas amostras					
Spindle S18					
Viscosímetro - Bookfield - LV DV-I Prime					
Tanino + água					
RPM	TORQUE (%)	cP	RPM	TORQUE (%)	cP
0,3	5,1	509,9	0,5	6,9	413,9
0,6	8,5	419,9	1	13,6	404,9
1,5	20,8	417,9	2	27,3	409,9
3	41,2	411,9	2,5	34,1	409,1
<b>6</b>	<b>81,7</b>	<b>408,9</b>	4	54,2	406,4
12	E	E	5	67,2	403,1
30	E	E	10	E	E
60	E	E	20	E	E
			50	E	E
			100	E	E

Com o tanino diluído, foram realizados 2 (dois) testes para verificar a viscosidade e a quantidade de teor de sólidos presentes na mistura. Foi constatado que, ambos os testes apresentaram resultados dentro do recomendado pela ficha técnica do adesivo para o uso na fabricação de aglomerados (ANEXO I). No teste de viscosidade, foi encontrado o valor de 408,9 cP para o torque máximo (81,7%) e, no teste de teor de sólidos obteve-se média de 44,90%.

**Tabela 10: Teste de teor de sólidos**

Teor de sólido - Resina TF01 (PHENOTAN AG)						
Resina – TF (Tanino + água)	Massa Prato	Massa Resina (pi)	Massa Resina + Prato (pi)	Peso Final + Prato (pf)	Peso Final (pf)	Sólido (%)
1	11,8148	1,0646	12,8794	12,2932	0,4784	44,94
2	11,3207	1,0116	12,3323	11,7741	0,4534	44,82
3	12,7478	1,0815	13,8293	13,2337	0,4859	44,93
						<b>44,90</b> <b>(Média)</b>



**Figura 17: Extrato de Acácia Negra**



**Figura 18: Diluição do tanino**

Após esta etapa, foi acrescentado o formaldeído na quantidade de 10% em relação ao peso do adesivo e na sequência, as partículas foram transportadas

para um misturador, onde foi realizada a aplicação do adesivo com o auxílio de uma pistola de ar comprimido.



**Figura 19: Aplicação do adesivo**

Logo após foi realizada a pré-prensagem em uma caixa com as dimensões correspondentes ao painel finalizado, exceto a espessura. Ao final, os colchões de partículas foram prensados a uma temperatura média de 160°C e pressão média de 4,2 Mpa durante 3 minutos, conforme tabela 8.



**Figura 20: Colchão de partículas**



**Figura 21: Prensagem**

### **Confecção dos corpos de prova – Séries 3 e 4**

Os resíduos provenientes do processo de laminação dos trechos de colmo do bambu da espécie *Dendrocalamus asper* foram divididos novamente em dois

tamanhos de grãos: os que passaram através da peneira com malha de dimensões de 4,0 mm (partículas grossas) e os que passaram pela peneira de abertura de 1,18 mm (partículas finas).

A composição do peso das partículas para a confecção dos painéis foi de 30% das finas e 70% das grossas. Após a determinação do teor de umidade das partículas, foi quantificado os pesos de 0,345kg por chapa necessário para produzir sete chapas nas dimensões de 280 mm x 150 mm x 10 mm de densidade 0,75 g/cm<sup>3</sup>.

**Tabela 11: Configuração das chapas**

<b>Tratamento:</b>	Tanino formaldeído (PHENOTAN AG)
<b>Tipo de partícula:</b>	<i>Dendrocalamus asper</i> - 30% part. finas (1.88mm) e 70% part. Grossa (4mm)
<b>Umidade da partícula (%):</b>	9,58 (Média ponderada - Fina: 10,63 e Grossa: 9,13)
<b>Quantidade de resina (%):</b>	10
<b>Quantidade de sólidos da resina(%):</b>	44,90
<b>Densidade da chapa (g/cm<sup>3</sup>):</b>	0,75
<b>Largura da chapa (cm):</b>	15
<b>Comprimento da chapa (cm):</b>	28
<b>Espessura da chapa (cm):</b>	1
<b>Perda prevista (%):</b>	10

**Tabela 12: Preparação do colchão**

		Quantidade considerando a perda prevista		
		100%	30%	70%
<b>Volume da chapa (cm<sup>3</sup>):</b>	420	420	126	294
<b>Peso da chapa seca (g):</b>	315	315	94,5	220,5
<b>Peso das partículas secas (g):</b>	286	315	94,5	220,5
<b>Peso de sólidos da resina (g):</b>	29	32	9,45	22,05
<b>Peso de resina (g):</b>	64	70,16	21,05	49,11
<b>Peso das partículas úmidas (g):</b>	314	345,18	103,55	241,62
<b>Peso do colchão (g):</b>	378			

**Tabela 13: Prensagens**

Chapa #1	
<b>Altura do colchão (cm):</b>	4,9
<b>Tempo de prensagem (min):</b>	3
<b>Temperatura de prensagem (°C):</b>	179
<b>Pressão de prensagem (Kg/cm<sup>2</sup>):</b>	42
<b>Umidade do colchão (%):</b>	15,54
<b>Densidade da chapa (g/cm<sup>3</sup>):</b>	0,76

<b>Chapa #2</b>	
Altura do colchão (cm):	5,2
Tempo de prensagem (min):	3
Temperatura de prensagem (°C):	175
Pressão de prensagem (Kg/cm <sup>2</sup> ):	43
Umidade do colchão (%):	15,27
Densidade da chapa (g/cm <sup>3</sup> ):	0,80
<b>Chapa #3</b>	
Altura do colchão (cm):	4,4
Tempo de prensagem (min):	3
Temperatura de prensagem (°C):	172
Pressão de prensagem (Kg/cm <sup>2</sup> ):	44
Umidade do colchão (%):	15,10
Densidade da chapa (g/cm <sup>3</sup> ):	0,80
<b>Chapa #4</b>	
Altura do colchão (cm):	5,0
Tempo de prensagem (min):	3
Temperatura de prensagem (°C):	168
Pressão de prensagem (Kg/cm <sup>2</sup> ):	44
Umidade do colchão (%):	15,07
Densidade da chapa (g/cm <sup>3</sup> ):	0,82
<b>Chapa #5</b>	
Altura do colchão (cm):	5,1
Tempo de prensagem (min):	3
Temperatura de prensagem (°C):	163
Pressão de prensagem (Kg/cm <sup>2</sup> ):	42
Umidade do colchão (%):	15,03
Densidade da chapa (g/cm <sup>3</sup> ):	0,78
<b>Chapa #6</b>	
Altura do colchão (cm):	5,2
Tempo de prensagem (min):	3
Temperatura de prensagem (°C):	175
Pressão de prensagem (Kg/cm <sup>2</sup> ):	40
Umidade do colchão (%):	15,43
Densidade da chapa (g/cm <sup>3</sup> ):	0,77
<b>Chapa #7</b>	
Altura do colchão (cm):	5,5
Tempo de prensagem (min):	3
Temperatura de prensagem (°C):	171
Pressão de prensagem (Kg/cm <sup>2</sup> ):	42
Umidade do colchão (%):	15,16
Densidade da chapa (g/cm <sup>3</sup> ):	0,79

Para o preparo do adesivo à base de tanino-formaldeído, na proporção de 10% em relação ao peso do material seco, foi realizada a mistura do extrato de Acácia Negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) - PHENOTAN AG (ANEXO I) com água na proporção de 50% de cada componente até atingir o peso total de resina necessária. Com o tanino diluído, foi acrescentado o formaldeído na quantidade de 10% em relação ao peso do adesivo.

**Tabela 14: Teste de viscosidade**

Viscosidade da resina TF02 (PHENOTAN AG)					
Pequenas amostras					
Spindle S18					
Viscosímetro - Bookfield - LV DV-I Prime					
Tanino + água					
RPM	TORQUE (%)	cP	RPM	TORQUE (%)	cP
0,3	16,4	1650	0,5	11,3	671,9
0,6	16,8	854	1	22,5	674,9
1,5	34,8	701,9	2	43,7	655,4
3	67,8	676,9	2,5	54,4	652,7
6	E	E	4	<b>85,8</b>	<b>643,4</b>
12	E	E	5	E	E
30	E	E	10	E	E
60	E	E	20	E	E
			50	E	E
			100	E	E

Com o tanino diluído, foram realizados 2 (dois) testes para verificar a viscosidade e a quantidade de teor de sólidos presentes na mistura. Foi constatado que, ambos os testes apresentaram resultados dentro do recomendado pela ficha técnica do adesivo para o uso na fabricação de aglomerados (ANEXO I). No teste de viscosidade, foi encontrado o valor de 643,4 cP para o torque máximo (85,8%) e, no teste de teor de sólidos obteve-se média de 45,25%.

**Tabela 15: Teste de teor de sólidos**

Teor de sólido - Resina TF02 (PHENOTAN AG)						
Resina – TF (Tanino + água)	Massa Prato	Massa Resina (pi)	Massa Resina + Prato (pi)	Peso Final + Prato (pf)	Peso Final (pf)	Sólido (%)
1	11,008	1,0669	12,0749	11,489	0,481	45,08
2	11,0503	1,0136	12,0639	11,5098	0,4595	45,33
3	9,5629	1,0259	10,5888	10,0279	0,465	45,33
						<b>45,25</b> <b>(Média)</b>

Após esta etapa, foi acrescentado o formaldeído na quantidade de 10% em relação ao peso do adesivo e na sequência, as partículas foram transportadas para um misturador, onde foi realizada a aplicação do adesivo com o auxílio de

uma pistola de ar comprimido.

Logo após foi realizada a pré-prensagem em uma caixa com as dimensões correspondentes ao painel finalizado, exceto a espessura. Ao final, os colchões de partículas foram prensados a uma temperatura média de  $171,85^{\circ}\text{C}$  e pressão média de  $4,24\text{ Mpa}$  durante 3 minutos, conforme tabela 13.



**Figura 22: Caixa de compactação**



**Figura 23: Colchão de partículas**



**Figura 24: Início da prensagem**



**Figura 25: Término da prensagem**

### 3.2. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Neste subcapítulo serão apresentados os resultados experimentais dos ensaios de absorção capilar e permeabilidade ao vapor de água de acordo com as respectivas séries de corpos de prova.

#### Absorção capilar (Série 1)

Para este ensaio, foi realizado o corte de 1 (um) painel prensado medindo 35 cm x 35 cm x 1 cm a fim de produzir 9 (nove) corpos de prova nas dimensões 10 cm x 10 cm e 1,0 cm de espessura com o objetivo de verificar a homogeneidade da prensagem em relação ao ganho de massa durante o ensaio de absorção de água por capilaridade. Após o corte os corpos-de-prova foram colocados em uma sala climatizada até alcançarem a estabilização (ANEXO II). Ao estabilizarem, os corpos de prova passaram pela etapa de impermeabilização da lateral com parafina.

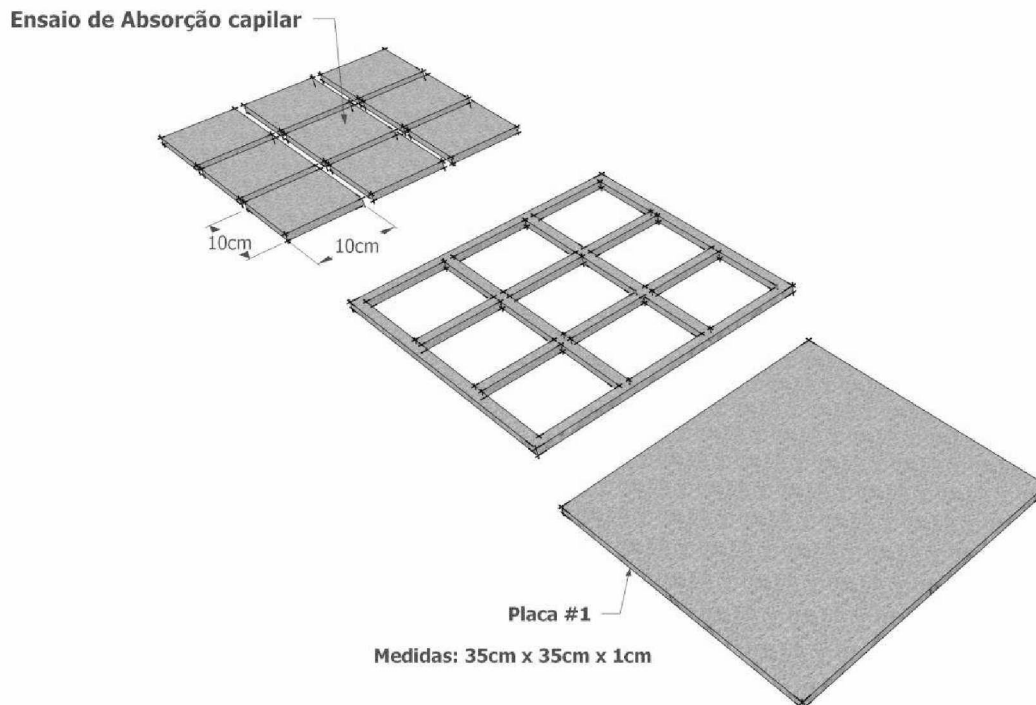


Figura 26: Esquema de corte dos CPs.



Vale destacar que a massa utilizada para o ensaio corresponde à última pesagem antes dos corpos de prova estarem envoltos de impermeabilizante. Além disso, a área correspondente ao avanço da parafina na superfície de contato com a água também foi descontada para efeito de ensaio.



Figura 27: Aplicação da parafina.

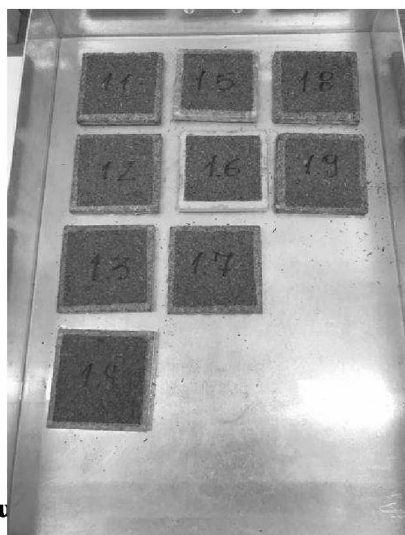


Figura 28: Amostras para o ensaio.

Tabela 16: Variação da massa (g) em função do tempo.

Área da base (cm <sup>2</sup> )		90,25		Legenda: m <sub>w</sub> : variação de massa por área A: coeficiente de absorção de água						
Tempo	(h)	Massa inicial	0,25	0,5	1	2	4	8	24	48
	(min)		15	30	60	120	240	480	1440	2880
Acréscimo de massa (m <sub>t</sub> - m <sub>i</sub> )	CP 1	-	40,02	42,67	45,04	46,14	47,00	47,69	49,19	51,63
	CP 2	-	37,29	40,74	42,32	43,30	44,84	46,10	47,44	48,99
	CP 3	-	36,46	40,62	41,49	43,45	45,50	46,18	47,57	49,42
	CP 4	-	41,19	44,51	45,00	46,68	48,73	49,88	51,82	52,86
	CP 5	-	40,57	44,00	45,40	47,09	48,63	49,77	50,77	54,24
	CP 6	-	38,04	41,24	43,10	44,82	45,91	46,99	48,90	50,49
	CP 7	-	38,24	41,45	43,86	44,55	46,28	47,35	49,18	50,45
	CP 8	-	39,65	42,97	44,50	45,32	46,74	48,33	50,10	51,07
	CP 9	-	44,72	47,09	47,91	49,10	49,30	50,91	52,60	55,27
	<b>Média</b>	-	39,58	42,81	44,29	45,61	46,99	48,13	49,73	51,60
<b>m<sub>w</sub></b>	<b>(Kg/m<sup>2</sup>)</b>	-	4,385	4,743	4,908	5,053	5,207	5,333	5,510	5,718
<b>A</b>	<b>(Kg/m<sup>2</sup>/h<sup>1/2</sup>)</b>	-	8,770	6,708	4,908	3,573	2,603	1,886	1,125	0,825

Nesta etapa do trabalho, após determinar a diferença entre a massa de cada pesagem e a massa inicial sobre a área de base que esteve em contato com a água, foi possível traçar os gráficos desses valores e tratá-los conforme a norma utilizada. Durante o procedimento do ensaio, foi alcançado o dado de  $0,902 \text{ Kg/m}^2/\text{h}^{1/2}$ , referente à quantidade de água absorvida por unidade de superfície dos corpos de prova ao final de 24h.

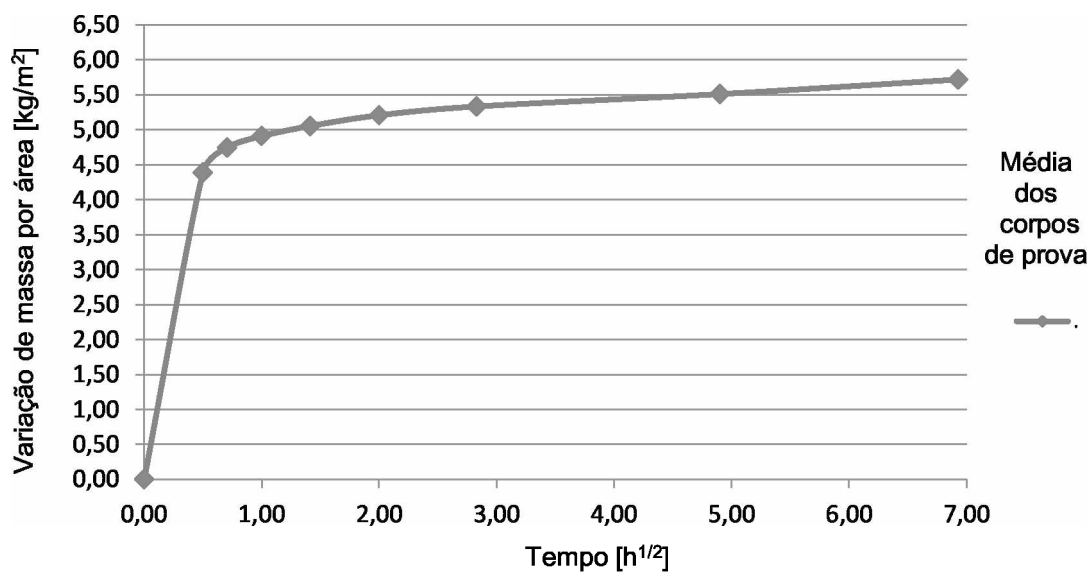
Substituindo o valor da média da variação da massa dos corpos de prova obtidos durante o ensaio na Equação 2, temos:

$$m_w = A \cdot t^{\frac{1}{2}} \rightarrow 5,510 = A \cdot 24^{\frac{1}{2}} \rightarrow A = \frac{5,510}{\sqrt{24}} \rightarrow A = 1,125 \text{ Kg/m}^2/\text{h}^{1/2}$$

Para lançar o dado conforme a unidade constante no programa, temos:

$$A = \frac{5,510}{\sqrt{86400}} \rightarrow A = 0,018 \text{ Kg/m}^2/\text{s}^{1/2}$$

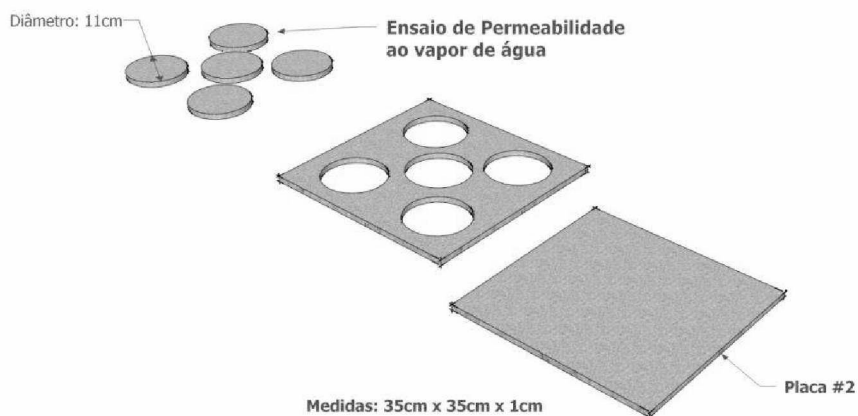
**Gráfico 1: Média da absorção de água por capilaridade**



## **Permeabilidade ao vapor de água (Série 2)**

Para este ensaio, foi realizado o corte de 1 (um) painel prensado medindo 35 cm x 35 cm x 1 cm a fim de produzir 5 (cinco) corpos de prova nas dimensões Ø11 cm e 1,0 cm de espessura cada com o objetivo de verificar a

homogeneidade da prensagem em relação ao ganho de massa durante o ensaio de permeabilidade ao vapor de água. Após o corte os corpos-de-prova foram colocados em uma sala climatizada até alcançarem a estabilização (ANEXO II). Ao estabilizarem, os corpos de prova foram colocados em um recipiente de PVC contendo o dessecante Cloreto de cálcio,  $\text{CaCl}_2$  e selados lateralmente com parafina.



**Figura 29: Esquema de corte dos CPs.**

Após cumprir os procedimentos determinados pela norma, foi possível encontrar valores que caracterizam as propriedades de transmissão de vapor, sobre cada corpo de prova.



**Figura 30: Tabuleiro com os CPs em ensaio.**

**Tabela 17: Dimensões dos corpos de prova.**

CP	1	2	3	4	5
Espessura (mm)	10	9,8	9,9	10	9,7
Diâmetro (cm)	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
Área do CP (m <sup>2</sup> )	0,0071	0,0071	0,0071	0,0071	0,0071

Como indicador de caracterização da permeabilidade foi utilizado o fator de resistência à difusão do vapor de água ( $\mu$ ), para facilitar a análise dos dados. Os resultados encontrados em cada uma das amostras foram apresentados considerando como parâmetro durante o ensaio, a média dos valores da umidade relativa no interior dos corpos de prova durante o ensaio.

**Tabela 18: Massa dos corpos de prova (g).**

Data	Hora	Temp	UR	Corpos de prova				
				1	2	3	4	5
04/jun	10:50	20	67	298,180	296,930	298,100	299,340	302,690
05/jun	10:52	20	66	298,600	297,210	298,540	299,720	303,150
06/jun	11:20	21	66	299,200	297,800	299,230	300,410	303,990
07/jun	10:40	21	66	299,770	298,300	299,980	300,990	304,620
08/jun	10:46	21	67	300,420	298,890	300,770	301,690	305,450
<b>Média</b>		20,6	66,4					

**Tabela 19: Ganho de massa (g).**

Data	Hora	Temp	UR	Corpos de prova				
				1	2	3	4	5
04/jun	10:50	20	67	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
05/jun	10:52	20	66	0,420	0,280	0,440	0,380	0,460
06/jun	11:20	21	66	1,020	0,870	1,130	1,070	1,300
07/jun	10:40	21	66	1,590	1,370	1,880	1,650	1,930
08/jun	10:46	21	67	2,240	1,960	2,670	2,350	2,760

**Tabela 20: Dados obtidos por meio do ensaio**

	Corpos de prova					
	1	2	3	4	5	Média
Constante G [kg/s]	6,55E-09	5,81E-09	7,86E-09	6,92E-09	8,10E-09	<b>7,05E-09</b>
Densidade fluxo [kg/s.m <sup>2</sup> ]	9,24,E-07	8,19,E-07	1,11,E-06	9,76,E-07	1,14,E-06	<b>9,94,E-07</b>
Permeancia total [kg/s.m <sup>2</sup> .Pa]	5,736E-10	5,086E-10	6,882E-10	6,061E-10	7,098E-10	<b>6,173E-10</b>
Permeabilidade [kg/s.m.Pa]	5,736E-12	4,985E-12	6,813E-12	6,061E-12	6,885E-12	<b>6,096E-12</b>
Camada de ar equivalente [m]	0,37	0,42	0,31	0,35	0,30	<b>0,35</b>
Fator de resist. à difusão [-]	37	43	31	35	31	<b>35</b>

Após encontrar a constante G, passamos para as equações da tabela 5:

$$g = \frac{G}{A} \rightarrow g = \frac{7,05E-09}{0,0071} \rightarrow g = 9,94, E - 07 \text{ kg/s.m}^2$$

Para obter o valor da permeância, temos:

$$W = \frac{G}{A \cdot \Delta p_v} \rightarrow W = \frac{7,05E-09}{0,0071 \cdot 1,1610,31} \rightarrow W = 6,173E - 10 \text{ kg/s.m}^2 \cdot \text{Pa}$$

Substituindo o valor da permeância na equação de Permeabilidade ao Vapor de Água, temos:

$$\delta_p = W \cdot d \rightarrow \delta_p = 6,173E - 10 \cdot \frac{9,88}{1000} \rightarrow \delta_p = 6,096E - 12 \text{ kg/(m.s.Pa)}$$

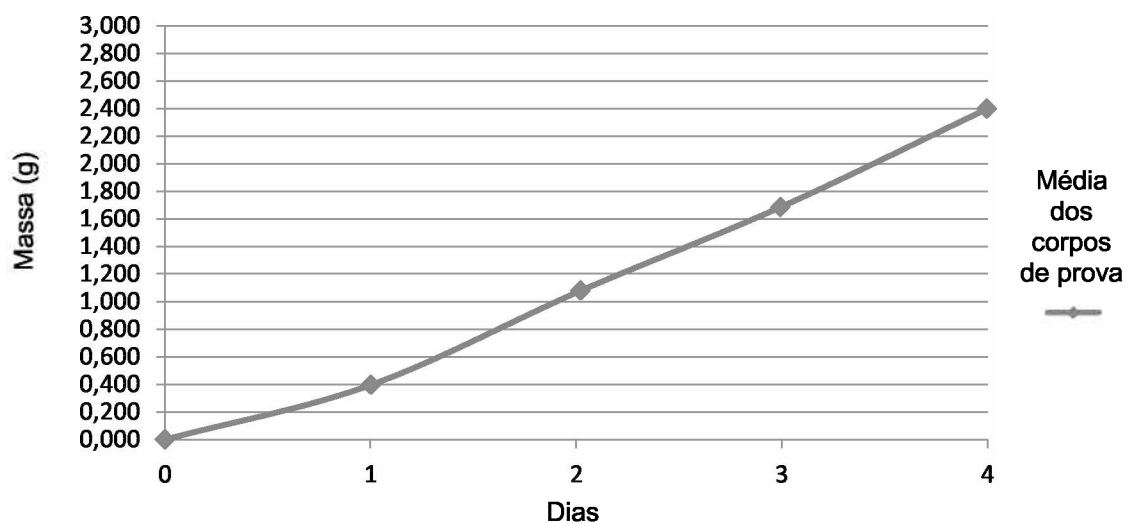
Substituindo os valores na fórmula da Permeabilidade ao Vapor de Água do Ar:

$$\delta_{ar} = \frac{0,08 \cdot p_0}{R_v \cdot T \cdot p} \cdot \left(\frac{T}{273}\right)^{1,81} \rightarrow \delta_{ar} = \frac{0,08 \cdot 0,28145}{462,293,6925,2} \cdot \left(\frac{293,6}{273}\right)^{1,81} \rightarrow \delta_{ar} = 2,123E - 10 \text{ kg/(m}^2 \cdot \text{s.Pa)}$$

Por fim, substituímos os valores na fórmula para obter o Fator de Resistência à Difusão de Vapor de Água:

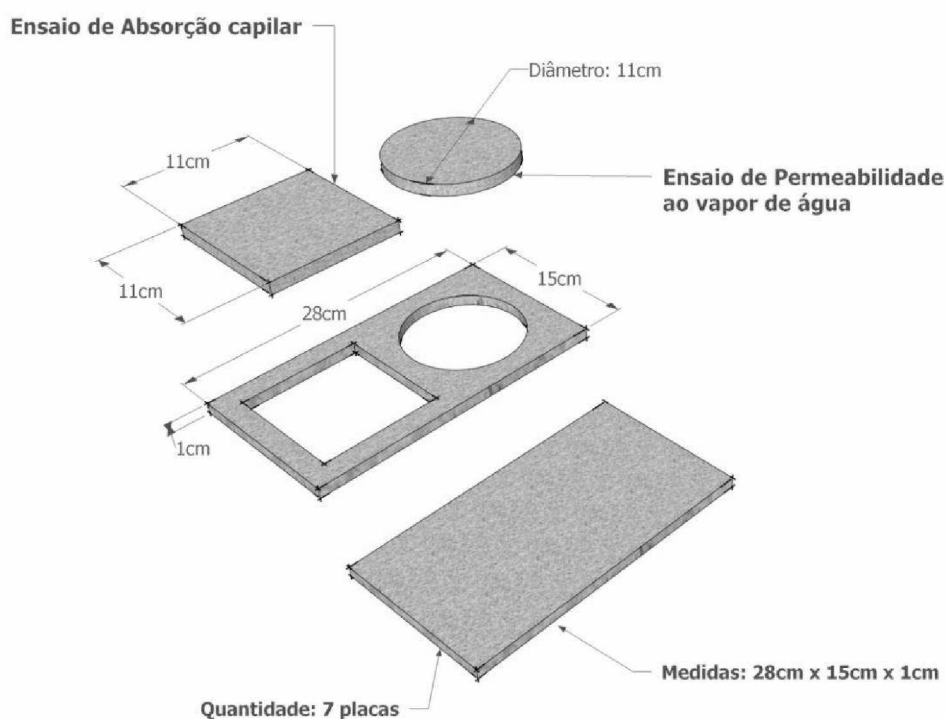
$$\mu = \frac{\delta_{ar}}{\delta_p} \rightarrow \mu = \frac{2,123E - 10}{6,096E - 12} \rightarrow \mu = 35$$

**Gráfico 2: Média do ganho de massa**



### Absorção capilar (Série 3)

Para este ensaio, foi realizado o corte de 7 (sete) painéis prensados medindo 28 cm x 15 cm x 1 cm a fim de produzir 7 (sete) corpos de prova nas dimensões 11 cm x 11 cm e 1,0 cm de espessura de cada painel com o objetivo de verificar a homogeneidade da prensagem em relação ao ganho de massa durante o ensaio de absorção de água por capilaridade. Após o corte os corpos-de-prova foram colocados em uma sala climatizada até alcançarem a estabilização (ANEXO II). Ao estabilizarem, os corpos de prova passaram pela etapa de impermeabilização da lateral com parafina.



**Figura 31: Esquema de corte dos CPs.**

Vale destacar que a massa utilizada para o ensaio corresponde à última pesagem antes dos corpos de prova estarem envoltos de impermeabilizante. Além disso, a área correspondente ao avanço da parafina na superfície de contato com a água também foi descontada para efeito de ensaio.



**Figura 32: Corpos de prova confeccionados para os ensaios**



**Figura 33: Tabuleiro com as CPs em ensaio.**

**Tabela 21: Variação da massa (g) em função do tempo.**

Área da base (cm<sup>2</sup>) 100,00

Legenda:  $m_w$ : variação de massa por área  
A: coeficiente de absorção de água

Tempo	(h)	Massa inicial	0,25	0,5	1	2	4	8	24	48
	(min)		15	30	60	120	240	480	1440	2880
Acréscimo de massa ( $m_t - m_i$ )	CP 1	-	37,18	38,33	39,39	40,01	40,75	41,85	44,55	46,56
	CP 2	-	33,92	36,01	37,41	37,96	38,90	39,56	42,52	44,46
	CP 3	-	33,12	34,88	36,06	36,78	37,47	38,47	41,04	42,89
	CP 4	-	28,44	33,13	35,07	35,89	36,88	37,76	40,71	42,29
	CP 5	-	33,39	36,26	37,83	38,38	39,26	40,36	42,89	44,55

	CP 6	-	37,17	39,73	41,27	42,08	43,11	44,34	47,28	49,53
	CP 7	-	38,83	42,40	43,74	44,94	46,20	46,81	50,19	51,81
	<b>Média</b>	-	<b>34,58</b>	<b>37,25</b>	<b>38,68</b>	<b>39,43</b>	<b>40,37</b>	<b>41,31</b>	<b>44,17</b>	<b>46,01</b>
<b>m<sub>w</sub></b>	<b>(Kg/m<sup>2</sup>)</b>	-	<b>3,458</b>	<b>3,725</b>	<b>3,868</b>	<b>3,943</b>	<b>4,037</b>	<b>4,131</b>	<b>4,417</b>	<b>4,601</b>
<b>A</b>	<b>(Kg/m<sup>2</sup>/h<sup>1/2</sup>)</b>	-	<b>6,916</b>	<b>5,268</b>	<b>3,868</b>	<b>2,788</b>	<b>2,018</b>	<b>1,460</b>	<b>0,902</b>	<b>0,664</b>

Nesta etapa do trabalho, após determinar a diferença entre a massa de cada pesagem e a massa inicial sobre a área de base que esteve em contato com a água, foi possível traçar os gráficos desses valores e tratá-los conforme a norma utilizada. Durante o procedimento do ensaio, foi alcançado o dado de 0,902 Kg/m<sup>2</sup>/h<sup>1/2</sup>, referente à quantidade de água absorvida por unidade de superfície dos corpos de prova ao final de 24h.

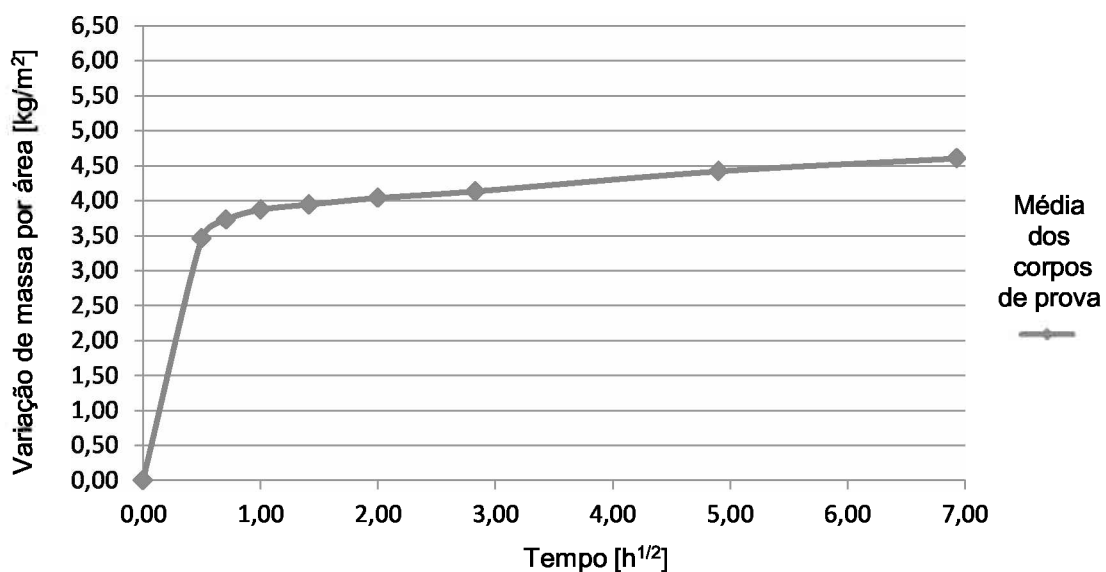
Substituindo o valor da média da variação da massa dos corpos de prova obtidos durante o ensaio na Equação 2, temos:

$$m_w = A \cdot t^{\frac{1}{2}} \rightarrow 4,417 = A \cdot 24^{\frac{1}{2}} \rightarrow A = \frac{4,417}{\sqrt{24}} \rightarrow A = 0,902 \text{ Kg/m}^2/\text{h}^{1/2}$$

Para lançar o dado conforme a unidade constante no programa, temos:

$$A = \frac{4,417}{\sqrt{86400}} \rightarrow A = 0,015 \text{ Kg/m}^2/\text{s}^{1/2}$$

**Gráfico 3: Absorção de água por capilaridade**





## Permeabilidade ao vapor de água (Série 4)

Para este ensaio, foi realizado o corte de 7 (sete) painéis prensados medindo 28 cm x 15 cm x 1 cm a fim de produzir 7 (sete) corpos de prova nas dimensões Ø11 cm e 1,0 cm de espessura de cada painel com o objetivo de verificar a homogeneidade da prensagem em relação ao ganho de massa durante o ensaio de permeabilidade ao vapor de água. Após o corte os corpos-de-prova foram colocados em uma sala climatizada até alcançarem a estabilização (ANEXO II). Ao estabilizarem, os corpos de prova foram colocados em um recipiente de PVC contendo o dissecante Sílica-gel, SiO<sub>2</sub> e selados lateralmente com parafina.

Após cumprir os procedimentos determinados pela norma, foi possível encontrar valores que caracterizam as propriedades de transmissão de vapor, sobre cada corpo de prova.

Tabela 22: Dimensões dos corpos de prova.

CP	1	2	3	4	5	6	7
Espessura (mm)	9,9	10	9,9	10,1	10,1	10	10
Diamêtro (cm)	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
Área do CP (m <sup>2</sup> )	0,0071	0,0071	0,0071	0,0071	0,0071	0,0071	0,0071

Como indicador de caracterização da permeabilidade foi utilizado o fator de resistência à difusão do vapor de água ( $\mu$ ), para facilitar a análise dos dados. Os resultados encontrados em cada uma das amostras foram apresentados considerando como parâmetro durante o ensaio, a média dos valores da umidade relativa no interior dos corpos de prova durante o ensaio.

Tabela 23: Massa dos corpos de prova (g).

Data	Hora	Temp	UR	Corpos de prova						
				1	2	3	4	5	6	7
27/ago	9:30	22	63	288,920	282,850	284,920	281,690	286,760	284,640	282,620
28/ago	9:30	22	63	289,400	283,500	285,440	282,270	287,220	285,150	283,220
29/ago	9:30	22	63	290,080	284,270	286,020	283,020	287,780	285,810	283,880
30/ago	9:30	22	63	290,570	284,810	286,460	283,520	288,160	286,250	284,350
31/ago	9:30	22	63	291,250	285,510	287,030	284,240	288,750	286,850	284,940
<b>Média</b>		22	63							

**Tabela 24: Ganho de massa (g).**

Data	Hora	Temp	UR	Corpos de prova						
				1	2	3	4	5	6	7
27/ago	9:30	22	63	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
28/ago	9:30	22	63	0,480	0,650	0,520	0,580	0,460	0,510	0,600
29/ago	9:30	22	63	1,160	1,420	1,100	1,330	1,020	1,170	1,260
30/ago	9:30	22	63	1,650	1,960	1,540	1,830	1,400	1,610	1,730
31/ago	9:30	22	63	2,330	2,660	2,110	2,550	1,990	2,210	2,320

**Tabela 25: Dados obtidos por meio do ensaio**

	Corpos de prova							
	1	2	3	4	5	6	7	Média
Constante G [kg/s]	6,75E-09	7,67E-09	6,06E-09	7,35E-09	5,69E-09	6,39E-09	6,68E-09	<b>6,66E-09</b>
Densidade fluxo [kg/s.m <sup>2</sup> ]	9,52,E-07	1,08,E-06	8,56,E-07	1,04,E-06	8,03,E-07	9,01,E-07	9,42,E-07	<b>9,39,E-07</b>
Permeancia total [kg/s.m <sup>2</sup> .Pa]	5,718E-10	6,503E-10	5,140E-10	6,228E-10	4,826E-10	5,414E-10	5,660E-10	<b>5,641E-10</b>
Permeabilidade [kg/s.m.Pa]	5,661E-12	6,503E-12	5,088E-12	6,291E-12	4,874E-12	5,414E-12	5,660E-12	<b>5,642E-12</b>
Camada de ar equivalente [m]	0,37	0,33	0,41	0,34	0,44	0,39	0,38	<b>0,38</b>
Fator de resist. à difusão [-]	38	33	42	34	44	39	38	<b>38</b>

Após encontrar a constante G obtida a partir da relação entre massa e tempo, passamos para a equação de Densidade de fluxo de difusão de vapor de água da Tabela 5:

$$g = \frac{G}{A} \rightarrow g = \frac{6,66E-09}{0,0071} \rightarrow g = 9,39, E - 07 \text{ kg/s.m}^2$$

Para obter o valor da permeância, temos:

$$W = \frac{G}{A \cdot \Delta p_v} \rightarrow W = \frac{6,66E-09}{0,0071 \cdot 1,1664,71} \rightarrow W = 5,641E - 10 \text{ kg/s.m}^2 \cdot \text{Pa}$$

Substituindo o valor da permeância na equação de Permeabilidade ao Vapor de Água, temos:

$$\delta_p = W \cdot d \rightarrow \delta_p = 5,641E - 10 \cdot \frac{10}{1000} \rightarrow \delta_p = 5,642E - 12 \text{ kg/(m.s.Pa)}$$

Substituindo os valores na fórmula da Permeabilidade ao Vapor de Água do Ar,

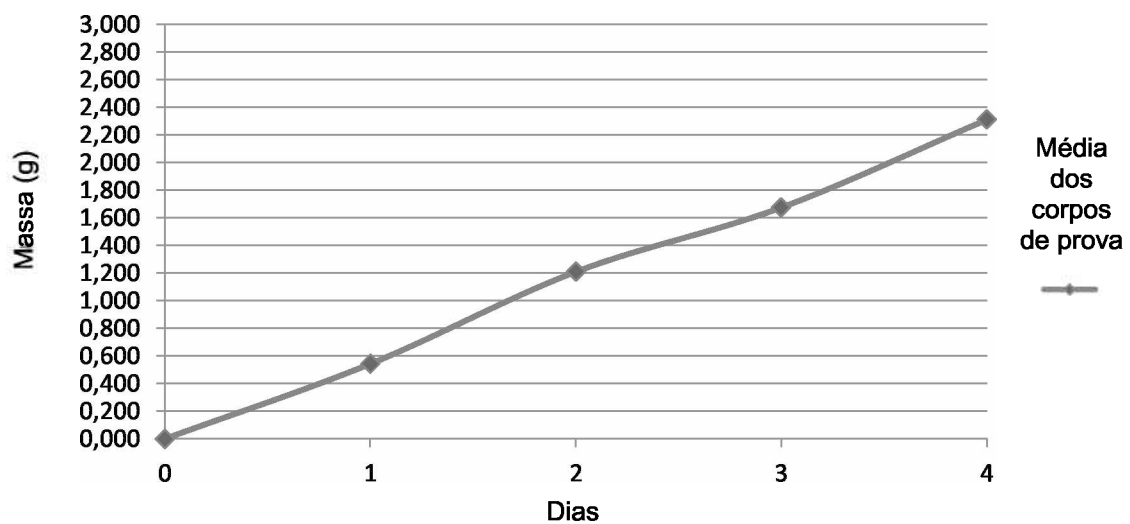
temos:

$$\delta_{ar} = \frac{0,08 \cdot p_0}{R_p \cdot T \cdot p} \cdot \left(\frac{T}{273}\right)^{1,81} \rightarrow \delta_{ar} = \frac{0,08 \cdot 0,28145}{462,295,925,2} \cdot \left(\frac{295}{273}\right)^{1,81} \rightarrow \delta_{ar} = 2,132E - 10 \text{ kg}/(\text{m.s.Pa})$$

Por fim, substituímos os valores na fórmula para obter o Fator de Resistência à Difusão de Vapor de Água:

$$\mu = \frac{\delta_{ar}}{\delta_p} \rightarrow \mu = \frac{2,132E - 10}{5,642E - 12} \rightarrow \mu = 38$$

Gráfico 4: Média do ganho de massa



### 3.3. SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA COMPUTACIONAL

Neste subcapítulo será apresentada a configuração do elemento construtivo e os parâmetros de simulação adotados.

#### Modelagem de sistema de painéis de bambu no WUFI

A constituição do elemento construtivo em estudo ficou definida conforme sistema construtivo em *woodframe* aplicado de forma usual pela indústria da

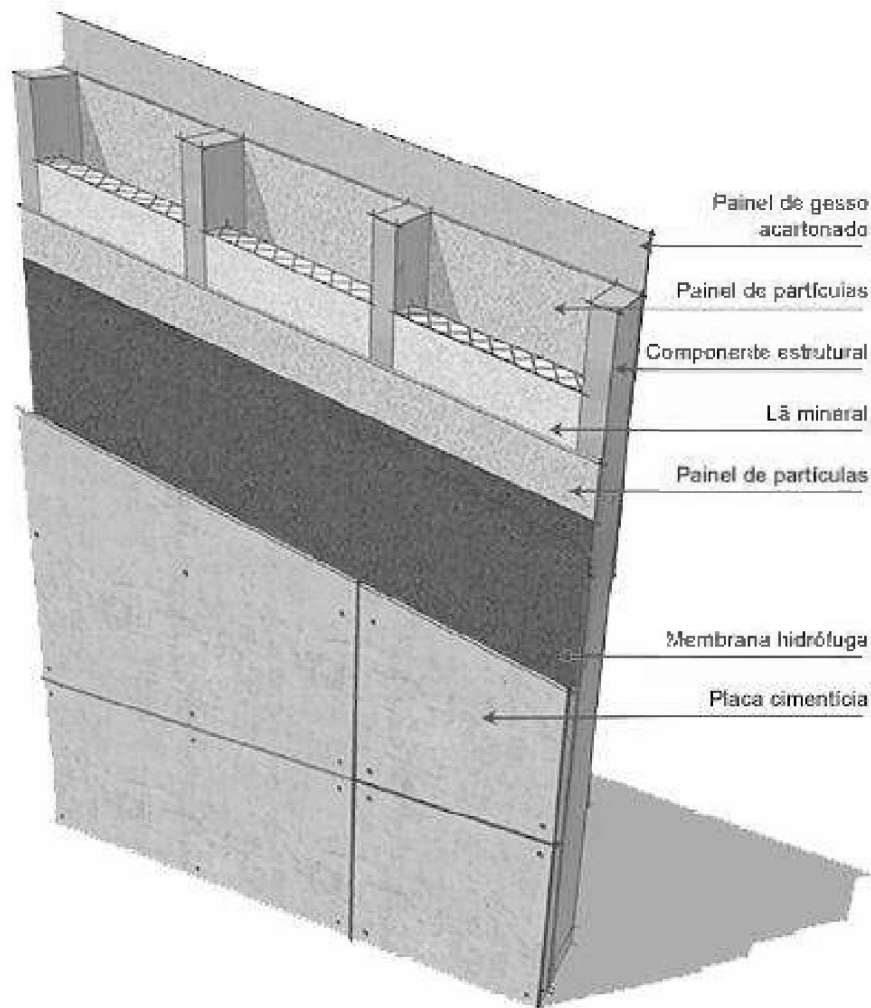
construção, adaptando a dimensão da camada de lã mineral ao sistema construtivo similar, chamado de *bambooframe* (figura 34). As propriedades dos elementos construtivos que compõe o sistema foram obtidas na base de dados do programa com exceção do painel de partículas de bambu, que teve algumas de suas propriedades obtidas por meio de ensaios de laboratório.



**Figura 34: Bambooframe (Fonte: Acervo CPAB/UnB).**

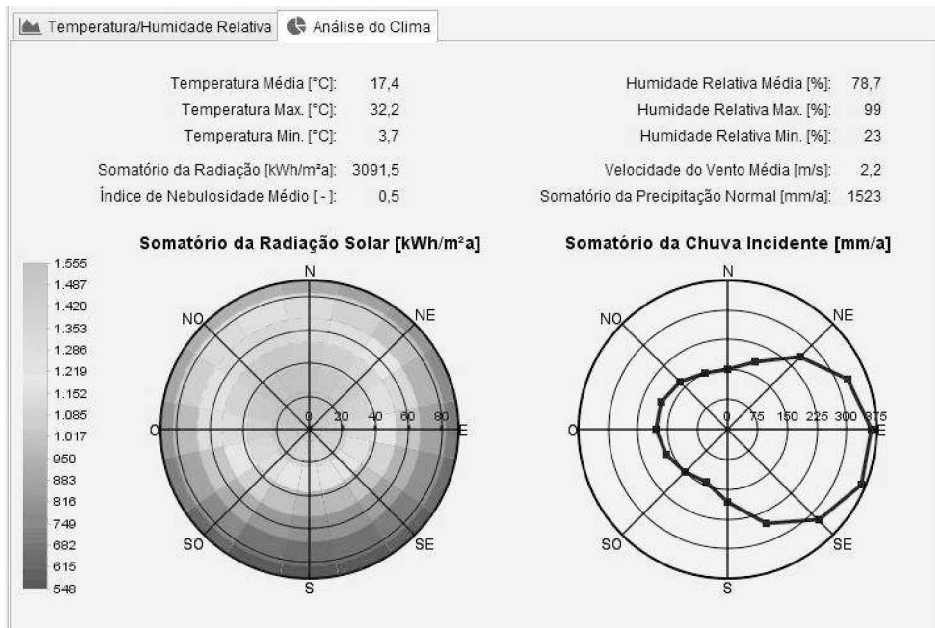
**Tabela 26: Materiais e espessura das camadas do sistema construtivo.**

Material da camada	Espessura [cm]
Placa cimentícia	1,30
Membrana hidrófuga	0,10
Painel de partículas	1,00
Lã mineral	8,00
Painel de partículas	1,00
Painel de gesso acartonado	1,25

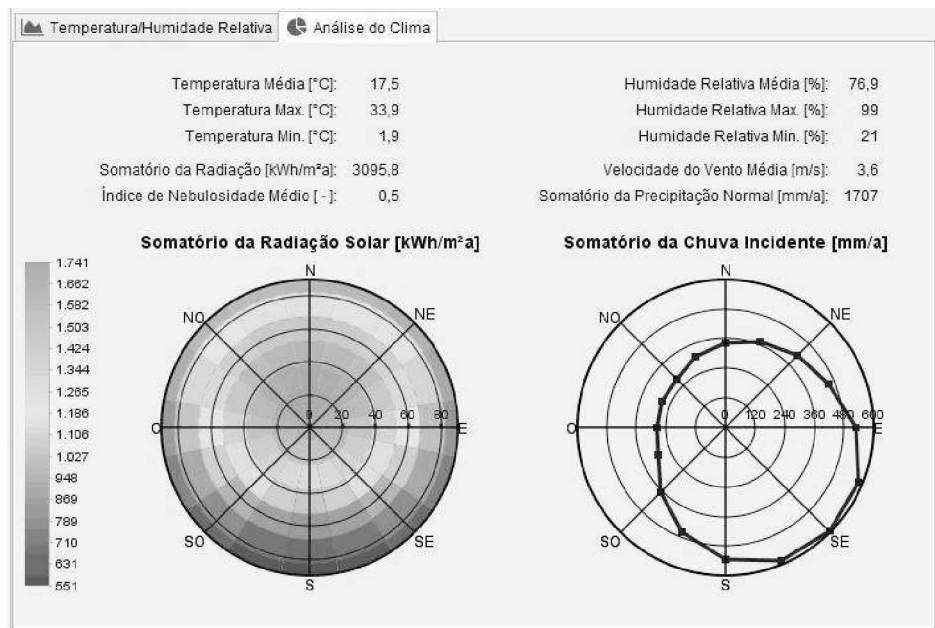


**Figura 35: Desenho esquemático das camadas de vedação.**

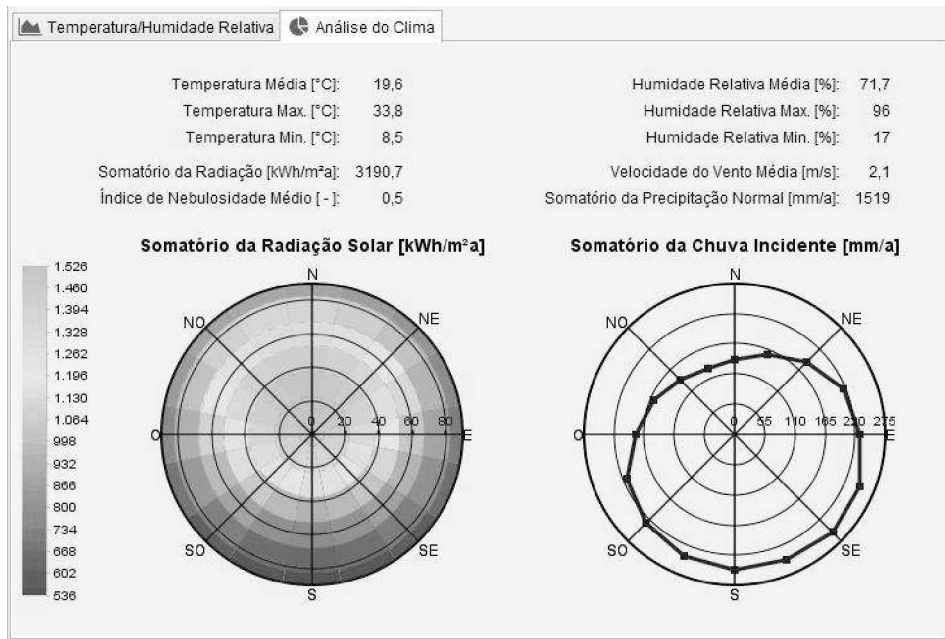
Para a realização das simulações foi adotada a orientação norte, pois é a fachada com o maior somatório de Radiação Solar incidente (Figuras 36 a 43). O elemento construtivo foi considerado completamente vertical em relação ao solo (ângulo de  $90^\circ$ ) e a edificação possuindo altura inferior a 10 metros. Em relação à chuva incidente, foi selecionado o modelo do WUFI baseado nos coeficientes  $R1$  e  $R2$ . Os valores do **coeficiente de absorção** e do **fator de resistência à difusão de vapor de água** selecionados para alimentar a base de dados do programa referente ao material “painel de partículas de bambu”, foram os obtidos nos ensaios das séries 3 e 4, pois os corpos de prova dessas séries foram confeccionados a partir de prensagens individuais.



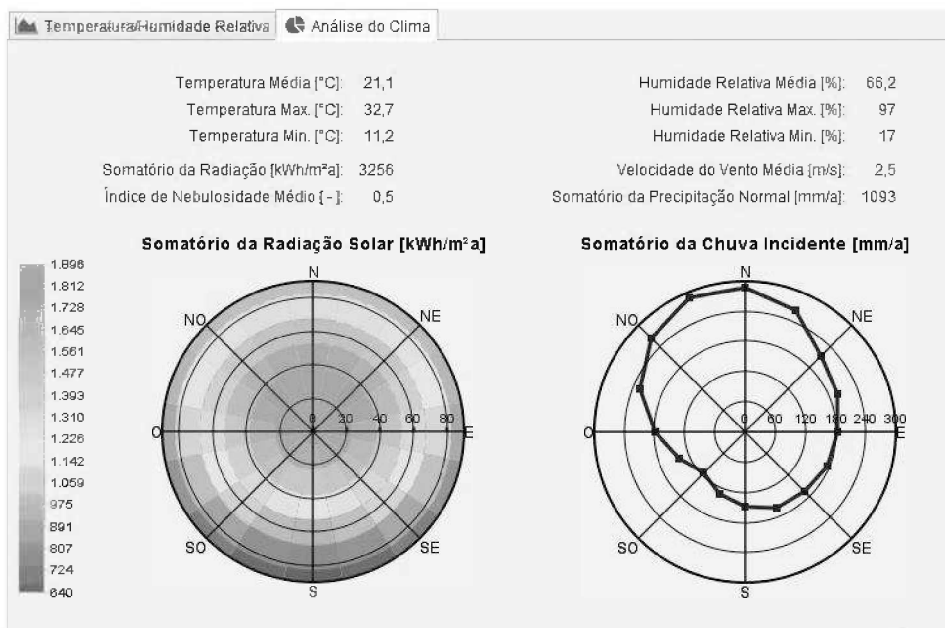
**Figura 36: Radiação solar e chuva incidente em Curitiba (Fonte: ANTAC).**



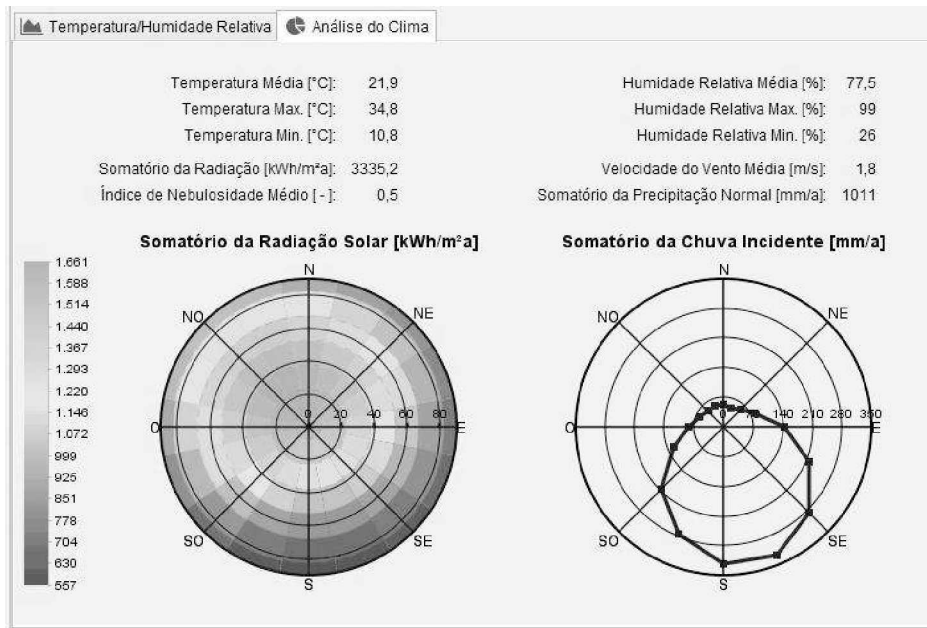
**Figura 37: Radiação solar e chuva incidente em Passo Fundo (Fonte: ANTAC).**



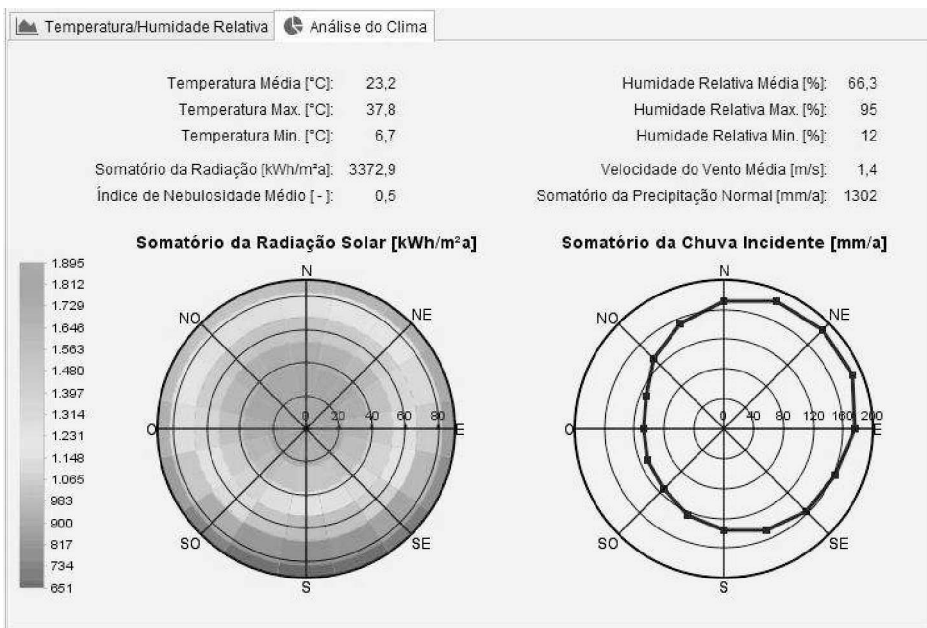
**Figura 38: Radiação solar e chuva incidente em São Paulo (Fonte: ANTAC).**



**Figura 39: Radiação solar e chuva incidente em Brasília (Fonte: ANTAC).**

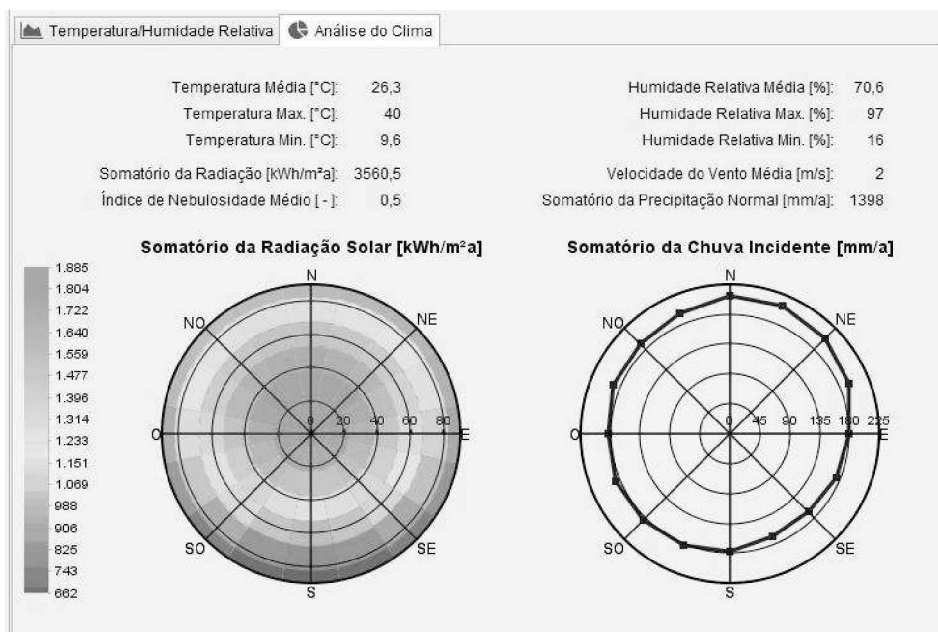


**Figura 40: Radiação solar e chuva incidente em Niterói (Fonte: ANTAC).**

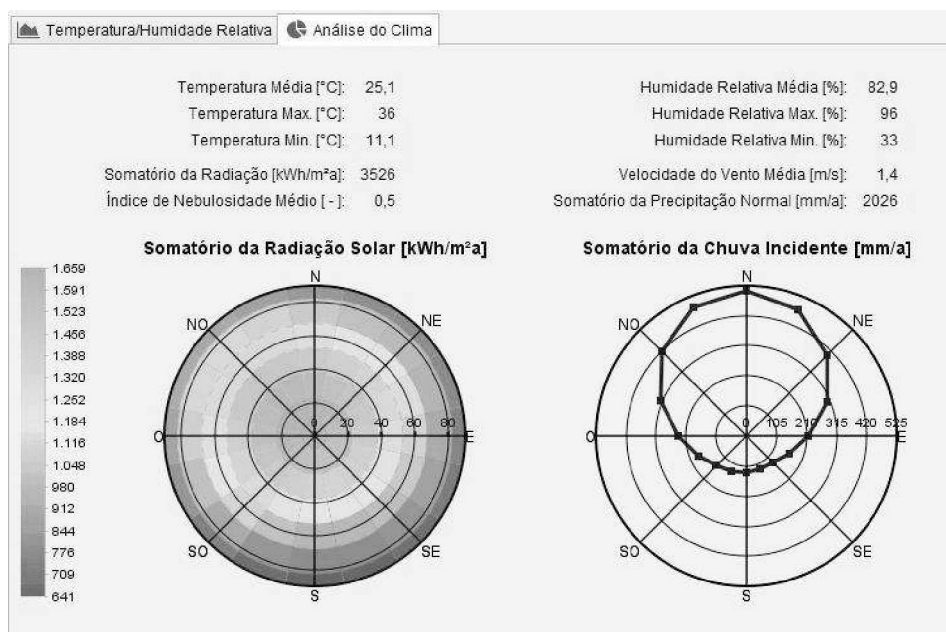


**Figura 41: Radiação solar e chuva incidente em Goiânia (Fonte: ANTAC).**





**Figura 42: Radiação solar e chuva incidente em Cuiabá (Fonte: ANTAC).**



**Figura 43: Radiação solar e chuva incidente em Rio Branco (Fonte: ANTAC).**

Para este trabalho foram utilizados arquivos climáticos em formato da base EPW-ANTAC (*EnergyPlus Weather File - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*) de cidades correspondentes às oito Zonas Bioclimáticas Brasileiras: Curitiba (Z1), Passo Fundo (Z2), São Paulo (Z3), Brasília (Z4), Niterói (Z5), Goiânia (Z6), Cuiabá (Z7) e Rio Branco (Z8).

## 4. RESULTADOS E ANÁLISE

Após a realização das simulações, foi verificada a homogeneidade das placas em relação à densidade e ao ganho de massa, a influência de 3 parâmetros no comportamento higrotérmico do sistema de vedação, conforme a variação do teor de umidade dos painéis. Os parâmetros são a influência da zona bioclimática, a influência da posição da camada do painel no sistema construtivo e, a influência do material do painel.

### 4.1. HOMOGENEIDADE DAS PLACAS EM RELAÇÃO À DENSIDADE E GANHO DE MASSA

Com a estabilização dos corpos de prova, após pesagens consecutivas apresentando mudança de massa menor ou igual a 0,3% (ASTM D1037, 1995), foi calculada a densidade das placas confeccionadas nas 4 (quatro) séries em estudo.

Gráfico 5: Densidade dos corpos de prova ( $\text{g/m}^3$ )

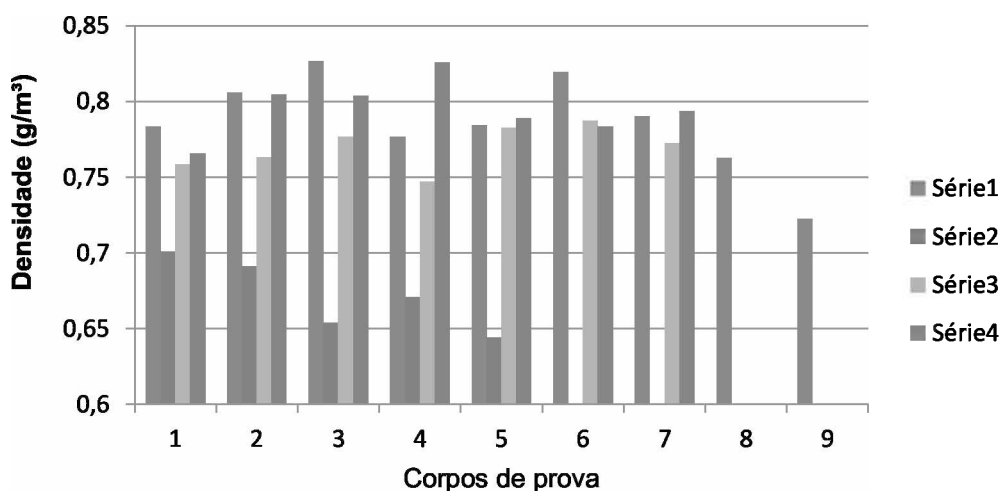


Tabela 27: Valores da densidade ( $\text{g/m}^3$ )

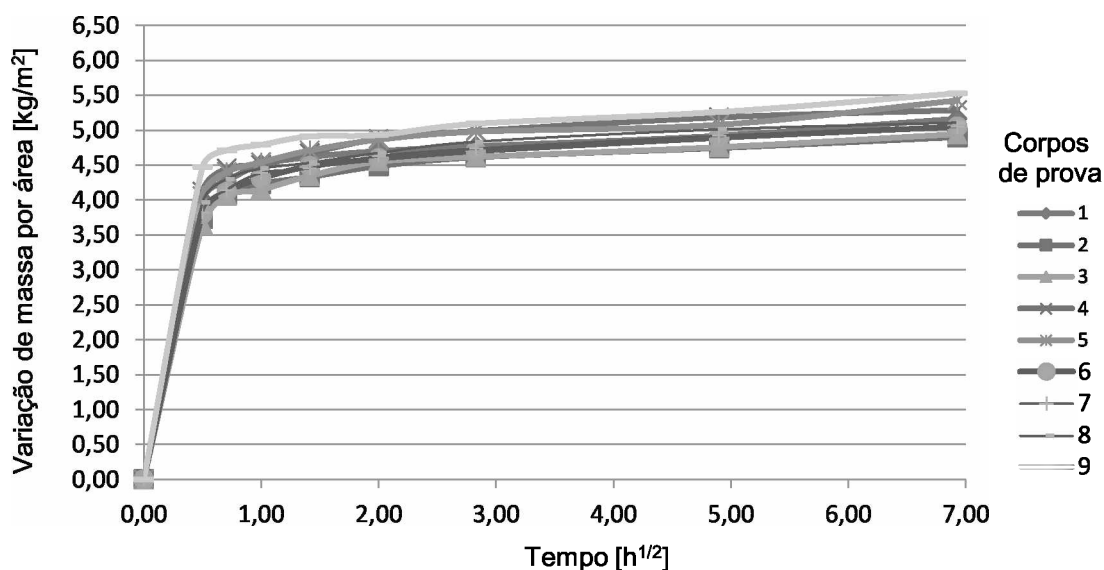
	Série 1	Série 2	Série 3	Série 4
média	0,79	0,67	0,77	0,80
desvio padrão	0,03	0,02	0,01	0,02
coeficiente de variação	4,00%	3,57%	1,85%	2,38%
erro padrão	0,01	0,01	0,01	0,01

intervalo de confiança (95%)	0,77	0,65	0,76	0,78
	0,81	0,69	0,78	0,81

Conforme observamos na tabela 27, a série 4 alcançou a maior média de densidade enquanto a série 2 não atingiu a densidade prevista de 0,75g/m<sup>3</sup>.

A série 3 foi a mais homogênea ao apresentar o coeficiente de variação de 1,85%. A série mais dispersa foi a série 1, com o coeficiente de variação mais elevado. Vale destacar que, apesar dos corpos de prova das séries 1 e 2 terem sido confeccionados de placas da apenas uma prensagem cada, os corpos de prova das séries 3 e 4, confeccionados a partir de prensagens diferentes, apresentaram coeficientes de variação menores.

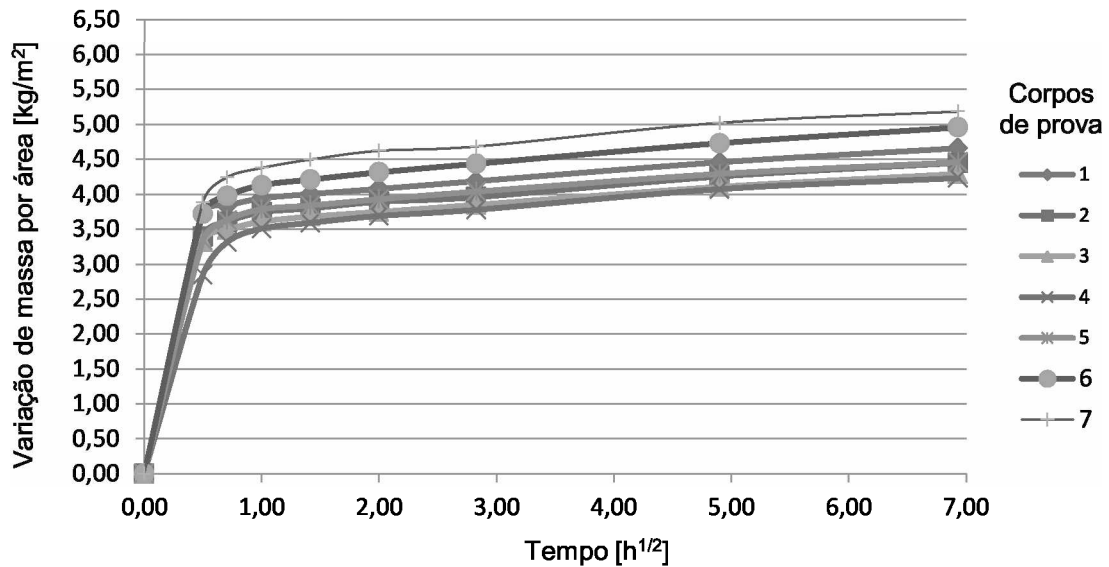
Gráfico 6: Absorção de água por capilaridade – Série 1



Com relação ao ganho de massa verificado após 24h do ensaio de absorção capilar, podemos observar na tabela 28, que a série 1 apresentou uma média mais elevada que a série 3, demonstrando ser uma placa mais absorvente, apesar de sua maior densidade.

Quanto ao coeficiente de variação referente ao ganho de massa, a série 1 foi a que absorveu água de forma mais homogênea, sendo condizente com sua prensagem única.

**Gráfico 7: Absorção de água por capilaridade – Série 3**



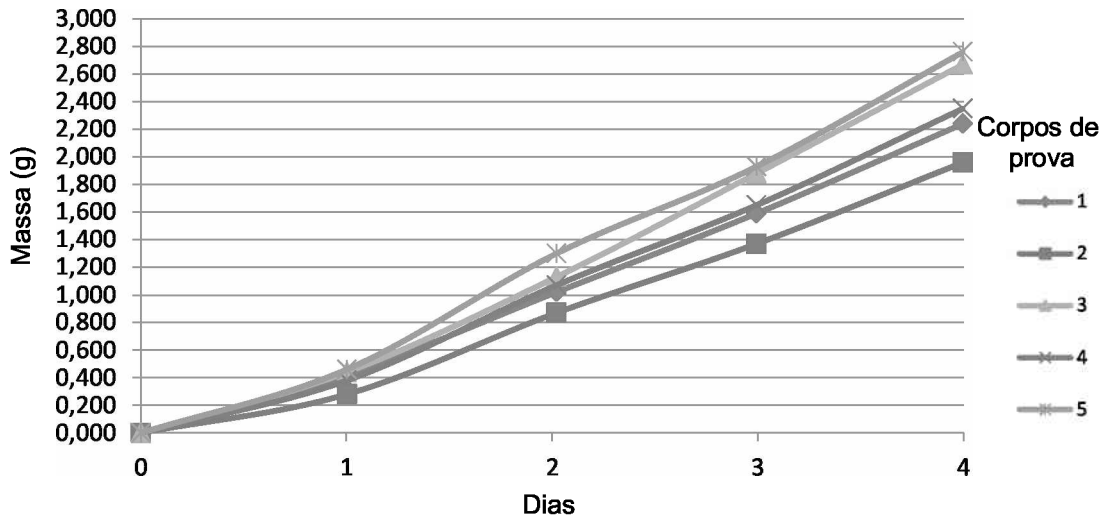
**Tabela 28: Valores de ganho de massa (kg/m²)**

	<b>Série 1</b>	<b>Série 3</b>
média	5,45	4,41
desvio padrão	0,20	0,35
coeficiente de variação	3,56%	7,85%
erro padrão	0,07	0,13
intervalo de confiança (95%)	5,38 5,63	4,16 4,67

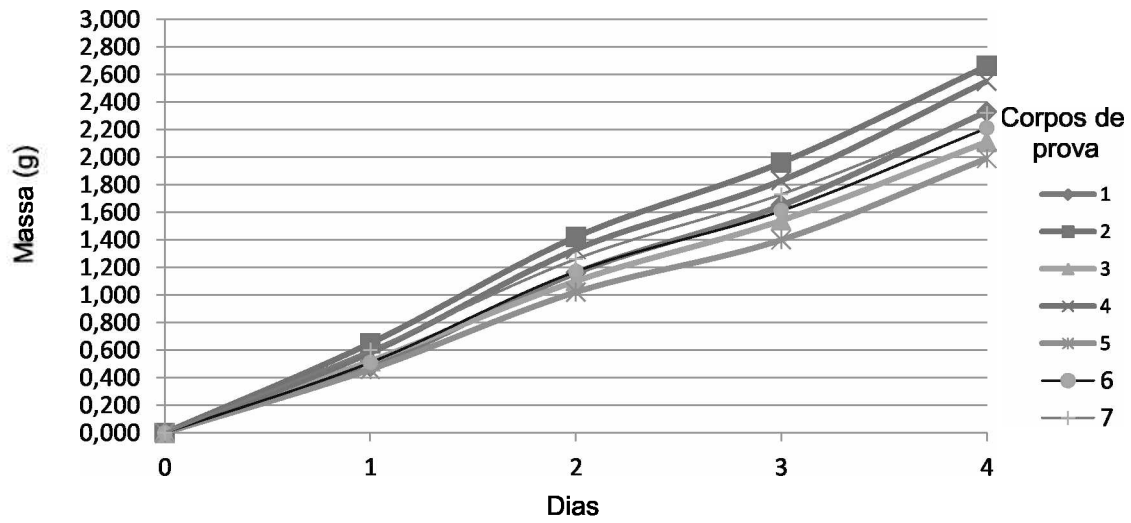
De acordo com os valores da constante G (relação do ganho de massa pelo tempo) obtidos nos ensaios de permeabilidade ao vapor de água, a série 2 apresentou a maior média, demonstrando ser uma placa com uma absorção maior e mais rápida. Esse dado faz sentido, pois, ao apresentar a menor média de densidade entre as séries, os corpos de prova dessa série são aparentemente mais porosos.

O coeficiente de variação foi menor na série 4, levando a constatação de sua maior homogeneidade, apesar dos corpos de prova da série 2 terem sido obtidos da prensagem de uma única placa.

**Gráfico 8: Ganho de massa – Série 2**



**Gráfico 9: Ganho de massa – Série 4**



**Tabela 29: Valores da constante G (kg/s)**

	Série 2	Série 4
média	7,05E-09	6,66E-09
desvio padrão	9,44E-10	6,93E-10
coeficiente de variação	13,39%	10,41%
erro padrão	4,22E-10	2,62E-10
intervalo de confiança (95%)	6,22E-09 7,88E-09	6,14E-09 7,17E-09

## 4.2. INFLUÊNCIA DA ZONA BIOCLIMÁTICA, POSIÇÃO DA CAMADA E MATERIAL DO PAINEL

Conforme podemos ver na tabela 30, que mostra os valores do teor de umidade dos painéis de madeira e bambu para a cidade de Curitiba (Z1), as maiores médias tanto para a placa externa quanto para a interna foram registradas nas placas com partículas de bambu, de 88,78 kg/m<sup>3</sup> e 64,24 kg/m<sup>3</sup>. O mesmo pode ser observado para o coeficiente de variação (4,24% e 3,75%), deixando em evidência uma maior dispersão dos valores do teor de umidade nessas placas. O coeficiente de variação entre os painéis interno e externo de cada material também foi mais alto para os painéis de bambu, com o valor de 16,56%. A maior variabilidade de dados entre painéis da mesma camada foi registrada para os painéis externos (3,78%).

Gráfico 10: Teor de umidade nos painéis - Curitiba

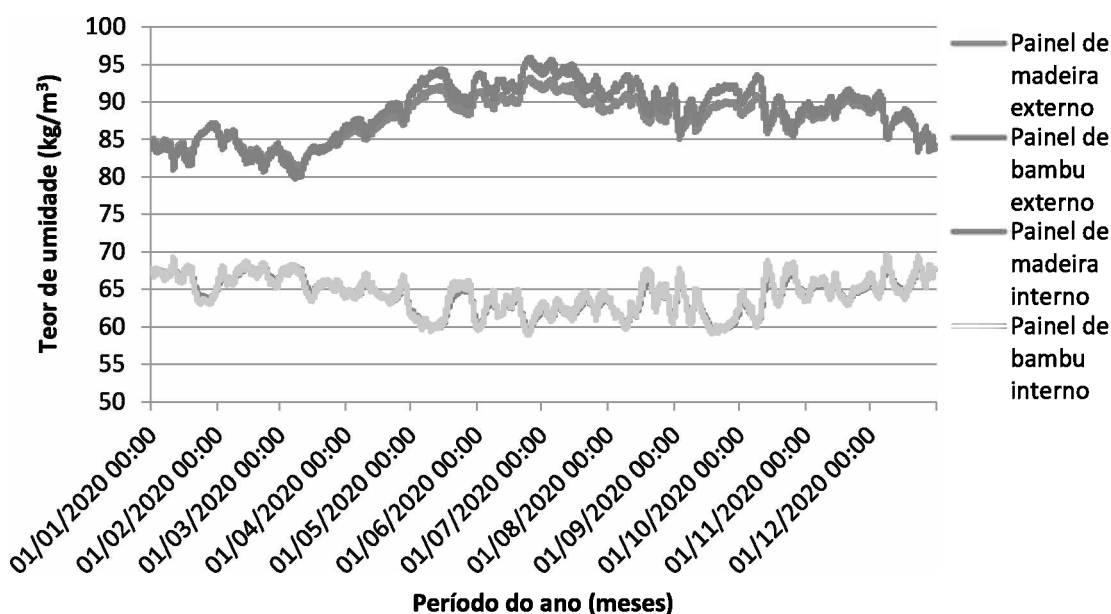


Tabela 30: Valores do teor de umidade [kg/m<sup>3</sup>] nos painéis - Curitiba

	Teor de umidade [kg/m <sup>3</sup> ]			
	Painel de madeira externo	Painel de madeira interno	Painel de bambu externo	Painel de bambu interno
Média	87,78	64,16	88,78	64,24
Desvio padrão	2,78	2,31	3,76	2,41
Coeficiente de variação	3,17%	3,60%	4,24%	3,75%
	Painel de madeira		Painel de bambu	

	(externo + interno)	(externo + interno)
Média	75,97	76,51
Desvio padrão	12,08	12,67
Coeficiente de variação	<b>15,90%</b>	<b>16,56%</b>
	Painel interno (madeira + bambu)	Painel externo (madeira + bambu)
Média	64,20	88,28
Desvio padrão	2,36	3,34
Coeficiente de variação	<b>3,68%</b>	<b>3,78%</b>

A tabela 31 traz os valores do teor de umidade dos painéis na cidade de Passo Fundo (Z2). As maiores médias também foram observadas nos painéis de bambu, tanto interno (63,98 kg/m<sup>3</sup>) quanto externo (87,25 kg/m<sup>3</sup>). A mesma situação se apresenta para o coeficiente de variação, em que teor de umidade dos painéis de bambu apresenta uma maior oscilação (8,65% e 4,69%). Os valores da diferença entre os painéis de mesmo material também foram mais altos para os painéis de bambu (17,15%). Os painéis externos apresentaram os dados que mais variaram entre painéis da mesma camada (7,99%).

Gráfico 11: Teor de umidade nos painéis - Passo Fundo

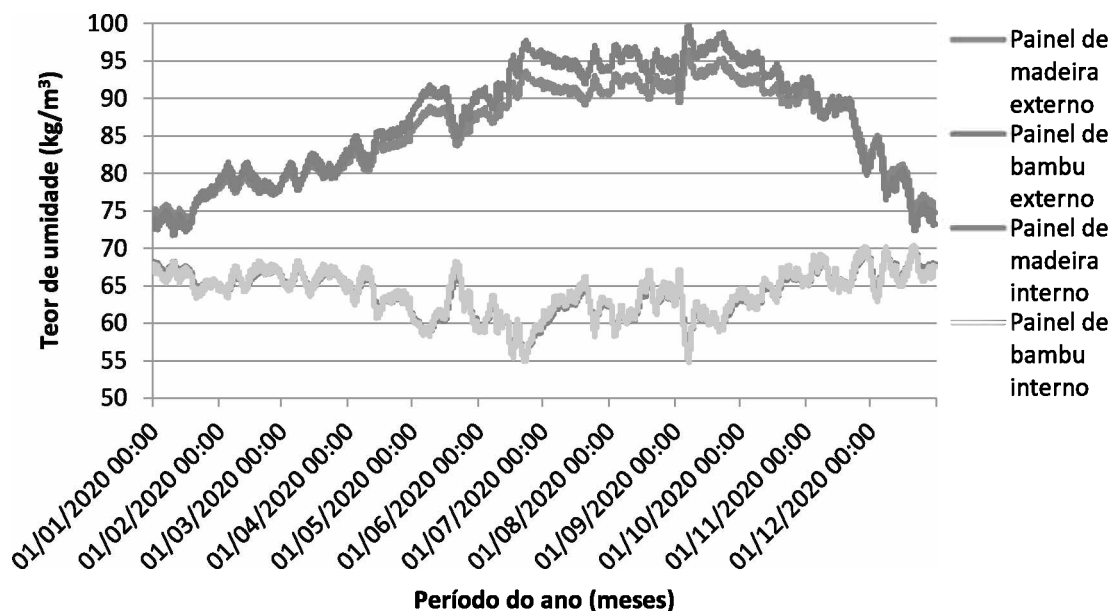


Tabela 31: Valores do teor de umidade [kg/m<sup>3</sup>] nos painéis - Passo Fundo

	Teor de umidade [kg/m <sup>3</sup> ]			
	Painel de madeira externo	Painel de madeira interno	Painel de bambu externo	Painel de bambu interno

Média	85,76	63,87	87,25	63,98
Desvio padrão	6,12	2,96	7,55	3
Coeficiente de variação	7,14%	4,63%	8,65%	4,69%
	Painel de madeira (externo + interno)		Painel de bambu (externo + interno)	
Média	74,82		75,62	
Desvio padrão	11,95		12,97	
Coeficiente de variação	15,97%		17,15%	
	Painel interno (madeira + bambu)		Painel externo (madeira + bambu)	
Média	63,93		86,51	
Desvio padrão	2,98		6,91	
Coeficiente de variação	4,66%		7,99%	

Em relação aos dados da cidade de São Paulo (Z3), as maiores médias (81,01 kg/m<sup>3</sup> e 65,13 kg/m<sup>3</sup>) e os maiores valores do coeficiente de variação (4,85% e 3,19%), tanto no painel interno quanto externo, foram do painel de partículas de bambu. O maior coeficiente de variação entre camadas de painéis de mesmo material também foi observado no material bambu (11,69%). A camada externa, seguindo o padrão das outras zonas bioclimáticas já apresentadas, também foi a que registrou maior oscilação (4,30%).

Gráfico 12: Teor de umidade nos painéis - São Paulo

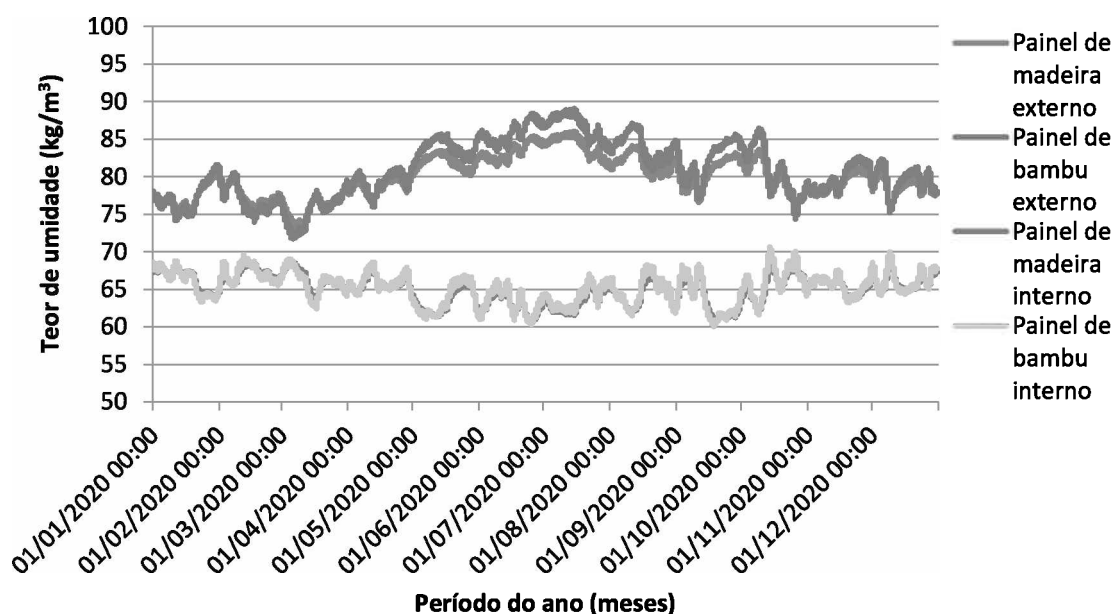


Tabela 32: Valores do teor de umidade [kg/m<sup>3</sup>] nos painéis - São Paulo

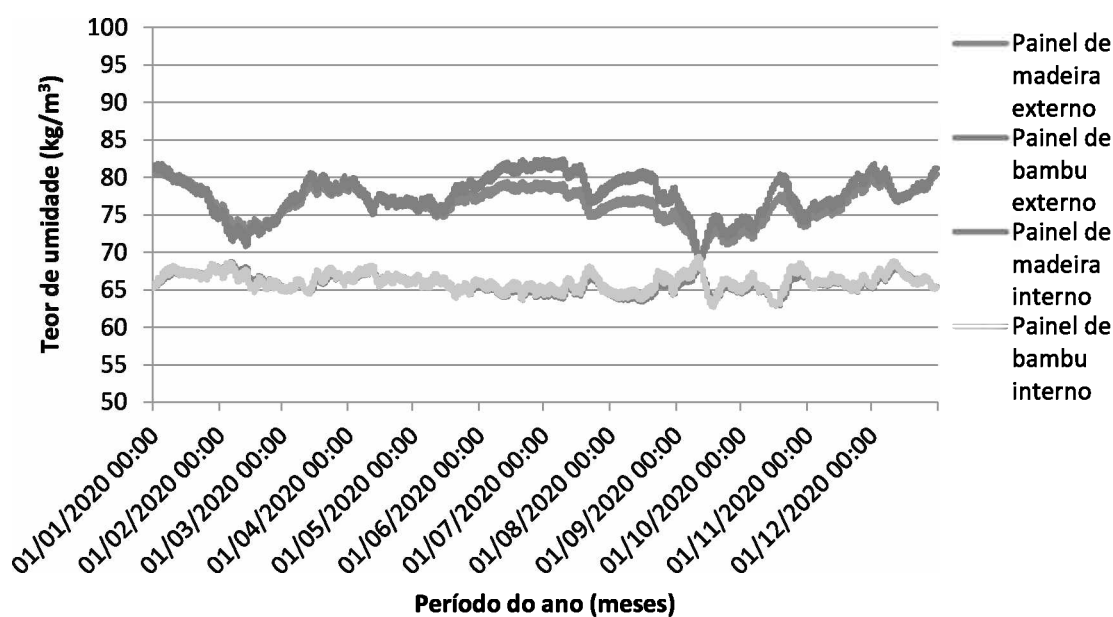
Teor de umidade [kg/m <sup>3</sup> ]
--------------------------------------



	Painel de madeira externo	Painel de madeira interno	Painel de bambu externo	Painel de bambu interno
Média	79,89	64,98	81,01	65,13
Desvio padrão	2,79	1,96	3,93	2,08
Coeficiente de variação	3,49%	3,02%	4,85%	3,19%
	Painel de madeira (externo + interno)		Painel de bambu (externo + interno)	
Média	72,44		73,07	
Desvio padrão	7,83		8,54	
Coeficiente de variação	10,81%		11,69%	
	Painel interno (madeira + bambu)		Painel externo (madeira + bambu)	
Média	65,06		80,45	
Desvio padrão	2,02		3,46	
Coeficiente de variação	3,10%		4,30%	

Na cidade de Brasília (Z4), continua a replicar o mesmo comportamento até agora observado. Maiores médias (77,64 kg/m<sup>3</sup> e 66 kg/m<sup>3</sup>) e maior coeficiente de variação (3,50% e 1,71%) para os painéis de bambu, tanto interno quanto externo. A maior oscilação entre camadas foi observada para os painéis de bambu, com valor de 8,60%. O valor de dispersão mais alto entre painéis de mesma camada foi verificado na camada externa (3,35%).

**Gráfico 13: Teor de umidade nos painéis - Brasília**

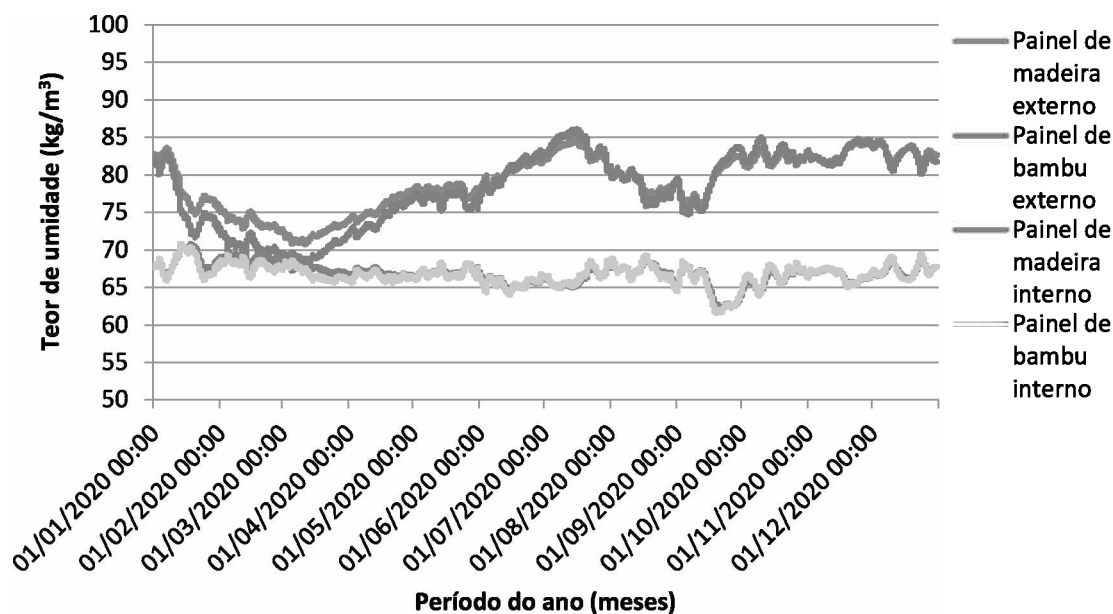


**Tabela 33: Valores do teor de umidade [kg/m<sup>3</sup>] nos painéis - Brasília**

	Teor de umidade [kg/m <sup>3</sup> ]			
	Painel de madeira externo	Painel de madeira interno	Painel de bambu externo	Painel de bambu interno
Média	76,48	65,80	77,64	66
Desvio padrão	2,29	1,12	2,72	1,13
Coeficiente de variação	2,99%	1,70%	3,50%	1,71%
	Painel de madeira (externo + interno)		Painel de bambu (externo + interno)	
Média	71,14		71,82	
Desvio padrão	5,63		6,18	
Coeficiente de variação	7,91%		8,60%	
	Painel interno (madeira + bambu)		Painel externo (madeira + bambu)	
Média	65,90		77,06	
Desvio padrão	1,13		2,58	
Coeficiente de variação	1,71%		3,35%	

Conforme podemos ver na tabela 34, que mostra os valores do teor de umidade dos painéis de madeira e bambu para a cidade de Niterói (Z5), as maiores médias tanto para a placa externa quanto para a interna foram registradas nas placas com partículas de madeira, de 78,98 kg/m<sup>3</sup> e 66,93 kg/m<sup>3</sup>. O maior valor de coeficiente de variação dos painéis internos foi o de partículas de madeira (2,21%) enquanto dos painéis externos foi o de partículas de bambu (6,40%). O coeficiente de variação entre os painéis interno e externo de cada material também foi mais alto para os painéis de bambu, com o valor de 9,40%. A maior variabilidade de dados entre painéis da mesma camada foi registrada para os painéis externos (5,65%).

**Gráfico 14: Teor de umidade nos painéis - Niterói**



**Tabela 34: Valores do teor de umidade [kg/m<sup>3</sup>] nos painéis - Niterói**

	Teor de umidade [kg/m <sup>3</sup> ]			
	Painel de madeira externo	Painel de madeira interno	Painel de bambu externo	Painel de bambu interno
Média	78,98	66,93	78,15	66,67
Desvio padrão	3,75	1,48	5	1,4
Coefficiente de variação	4,75%	2,21%	6,40%	2,10%
	Painel de madeira (externo + interno)		Painel de bambu (externo + interno)	
Média	72,96		72,41	
Desvio padrão	6,66		6,81	
Coefficiente de variação	9,13%		9,40%	
	Painel interno (madeira + bambu)		Painel externo (madeira + bambu)	
Média	66,80		78,57	
Desvio padrão	1,44		4,44	
Coefficiente de variação	2,16%		5,65%	

A tabela 35 traz os valores do teor de umidade dos painéis na cidade de Goiânia (Z6). As maiores médias foram observadas nos painéis de madeira, tanto interno (66,04 kg/m<sup>3</sup>) quanto externo (70,2 kg/m<sup>3</sup>). Já o coeficiente de variação foi mais elevado para o painel externo de bambu (5,62%) e de igual valor para os painéis internos de bambu e madeira (1,74%). Os valores da diferença entre os painéis de mesmo material foram mais altos para os painéis

de bambu (5,22%). Os painéis externos apresentaram os dados que mais variaram entre painéis da mesma camada (5,50%).

Gráfico 15: Teor de umidade nos painéis - Goiânia

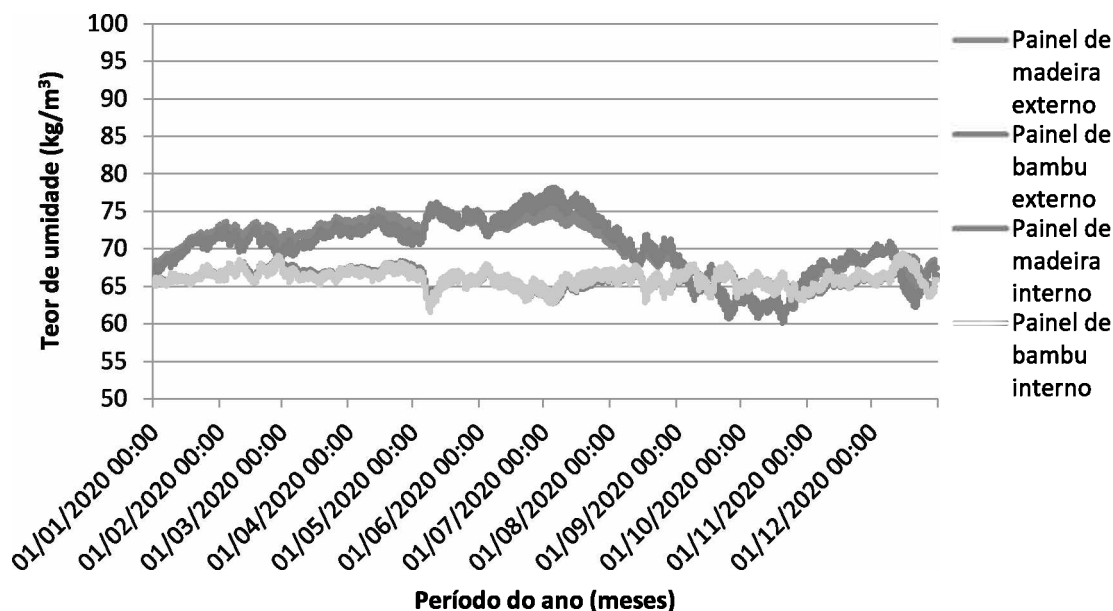


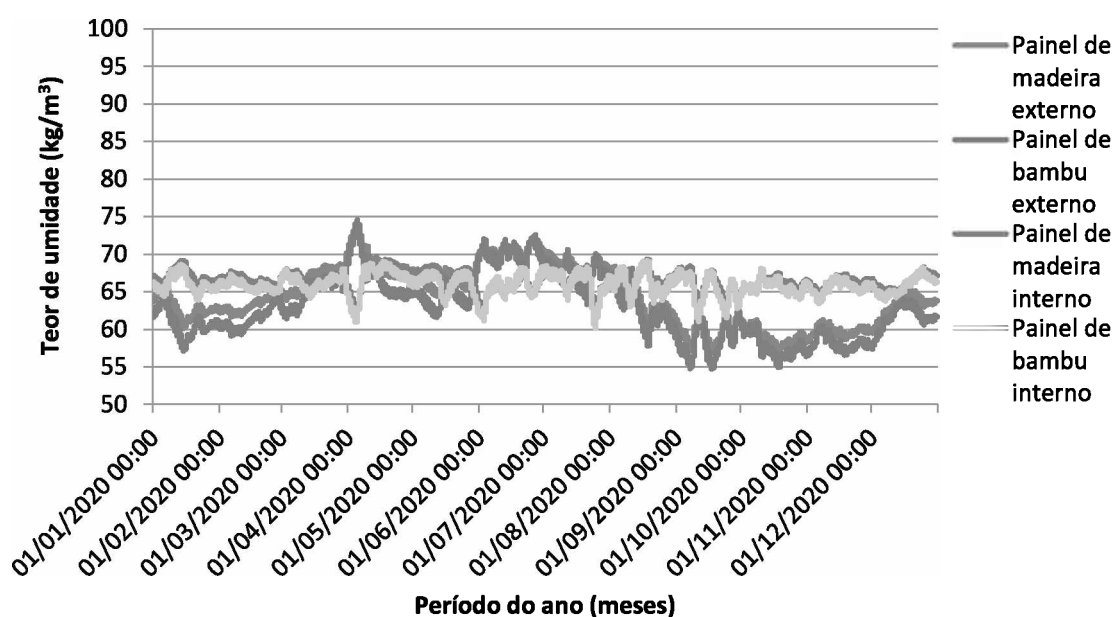
Tabela 35: Valores do teor de umidade [kg/m³] nos painéis - Goiânia

	Teor de umidade [kg/m³]			
	Painel de madeira externo	Painel de madeira interno	Painel de bambu externo	Painel de bambu interno
Média	70,20	66,04	70,1	65,99
Desvio padrão	3,77	1,15	3,94	1,15
Coefficiente de variação	5,37%	1,74%	5,62%	1,74%
	Painel de madeira (externo + interno)		Painel de bambu (externo + interno)	
Média	68,12		68,05	
Desvio padrão	3,48		3,55	
Coefficiente de variação	5,11%		5,22%	
	Painel interno (madeira + bambu)		Painel externo (madeira + bambu)	
Média	66,02		70,15	
Desvio padrão	1,15		3,86	
Coefficiente de variação	1,74%		5,50%	

Em relação aos dados da cidade de Cuiabá (Z7), as maiores médias (64,48 kg/m³ e 66,45 kg/m³) foram registradas nos painéis de partículas de madeira.

Vale destacar que, foi a primeira vez entre as cidades apresentadas até aqui que a média do teor de umidade dos painéis internos foram superiores as dos painéis externos. Os maiores valores do coeficiente de variação (6,70% e 2,17%), tanto no painel externo quanto interno, foram do painel de partículas de bambu. O maior coeficiente de variação entre camadas de painéis de mesmo material também foi observado no material bambu (5,39%). A camada externa, seguindo o padrão das outras zonas bioclimáticas já apresentadas, também foi a que registrou maior oscilação (6,53%).

**Gráfico 16: Teor de umidade nos painéis - Cuiabá**



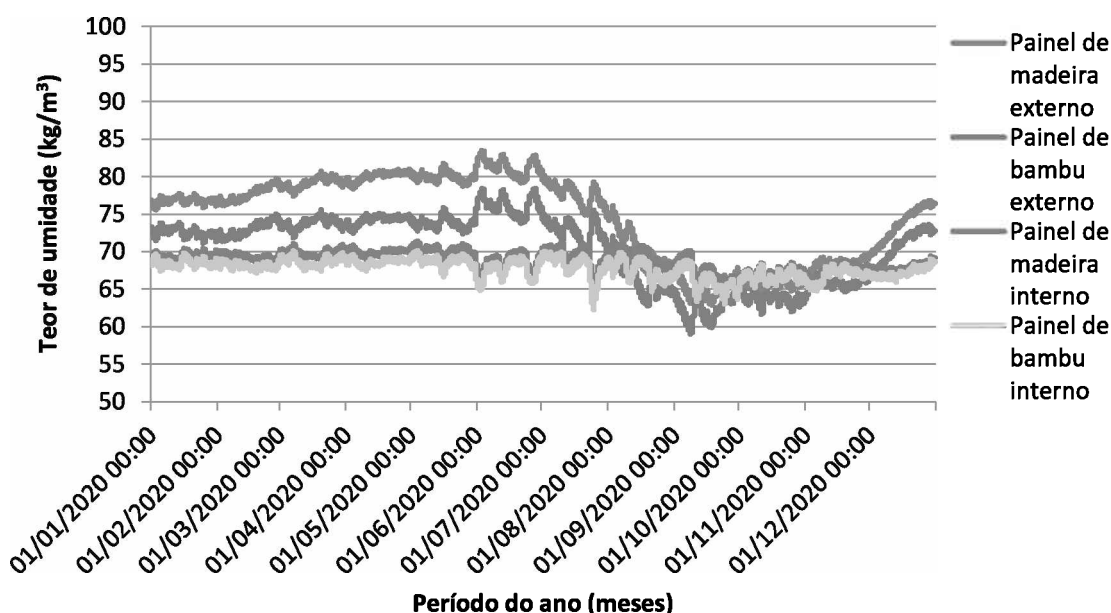
**Tabela 36: Valores do teor de umidade [kg/m³] nos painéis - Cuiabá**

	Teor de umidade [kg/m³]			
	Painel de madeira externo	Painel de madeira interno	Painel de bambu externo	Painel de bambu interno
Média	64,48	66,45	62,95	65,88
Desvio padrão	3,96	1,22	4,22	1,43
Coeficiente de variação	6,14%	1,84%	6,70%	2,17%
	Painel de madeira (externo + interno)		Painel de bambu (externo + interno)	
Média	65,47		64,42	
Desvio padrão	3,09		3,47	
Coeficiente de variação	4,72%		5,39%	
	Painel interno (madeira + bambu)		Painel externo (madeira + bambu)	
Média	66,17		63,72	

Desvio padrão	1,36	4,16
Coeficiente de variação	2,06%	6,53%

Na cidade de Rio Branco (Z8), podemos observar as maiores médias (74,69 kg/m<sup>3</sup> e 68,82 kg/m<sup>3</sup>) para os painéis de madeira. O coeficiente de variação externo (7,60%) foi maior para os painéis de madeira e o valor do coeficiente de variação interno foi o mesmo para os dois materiais (1,71%). A maior oscilação entre camadas foi observada para os painéis de madeira, com valor de 7,04%. O valor de dispersão mais alto entre painéis de mesma camada foi verificado na camada externa (7,66%).

**Gráfico 17: Teor de umidade nos painéis - Rio Branco**



**Tabela 37: Valores do teor de umidade nos painéis - Rio Branco**

	Teor de umidade [kg/m <sup>3</sup> ]			
	Painel de madeira externo	Painel de madeira interno	Painel de bambu externo	Painel de bambu interno
Média	74,69	68,82	70,49	67,68
Desvio padrão	5,68	1,30	4,56	1,28
Coeficiente de variação	7,60%	1,89%	6,47%	1,89%
	Painel de madeira (externo + interno)		Painel de bambu (externo + interno)	
Média	71,76		69,09	
Desvio padrão	5,05		3,63	
Coeficiente de variação	7,04%		5,25%	

	Painel interno (madeira + bambu)	Painel externo (madeira + bambu)
Média	68,25	72,59
Desvio padrão	1,41	5,56
Coefficiente de variação	2,07%	7,66%

Com relação à média do teor de umidade, Cuiabá foi a cidade que apresentou o maior potencial de uso de painéis externos, tanto para o de partículas de madeira quanto de bambu, pois apresentou os menores valores (64,48 kg/m<sup>3</sup> e 62,95 kg/m<sup>3</sup>). Curitiba foi a que apresentou a situação mais crítica em relação à média dos painéis externos, registrando o valor de 87,78 kg/m<sup>3</sup> para o de madeira e 88,78 kg/m<sup>3</sup> para o de bambu.

Passo Fundo foi o local que apresentou os menores valores de média em relação aos painéis internos, tanto de madeira (63,87 kg/m<sup>3</sup>) quanto de bambu (63,98 kg/m<sup>3</sup>). O pior cenário para os painéis internos de madeira e de bambu, em relação à média do teor de umidade, foram em Rio Branco, que apresentou os valores de 68,82 kg/m<sup>3</sup> para madeira e 67,68 kg/m<sup>3</sup> para bambu.

De acordo com o coeficiente de variação, Rio Branco foi a cidade que apresentou o maior valor (7,60%) para os painéis externos de madeira enquanto que, Passo Fundo apresentou o valor mais alto (8,65%) para os painéis externos de bambu. As menores dispersões dos painéis externos de bambu e de madeira foram registradas na cidade de Brasília, cujos valores foram de 3,50% e 2,99%, respectivamente.

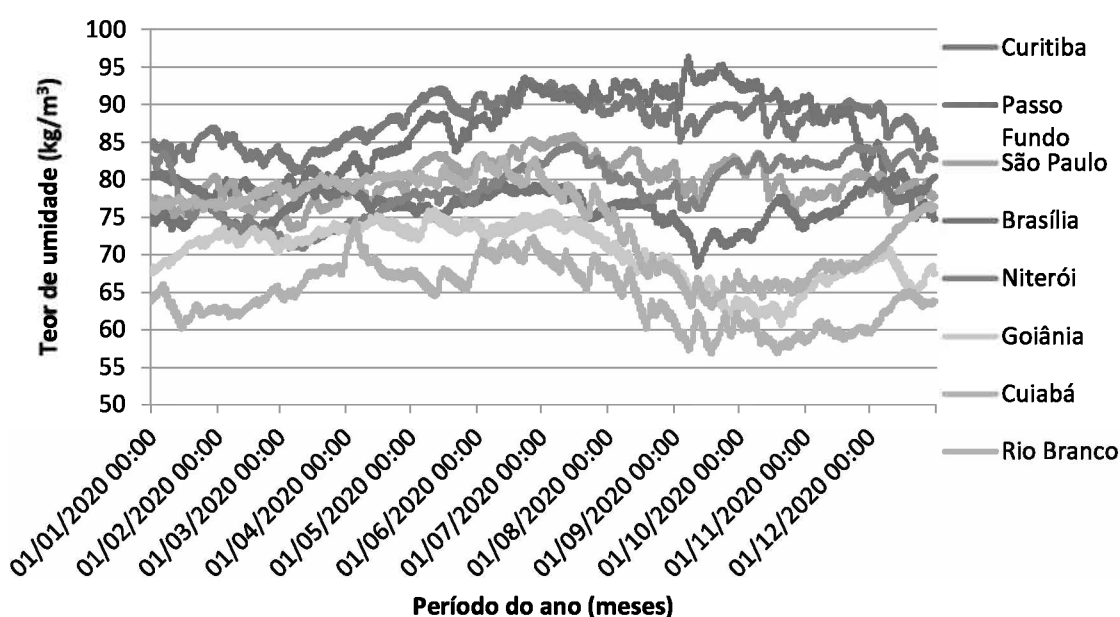
O cenário mais desfavorável em relação aos valores do coeficiente de variação para os painéis internos, tanto de madeira (4,63%) quanto de bambu (4,69%), foi encontrado na cidade de Passo Fundo. A menor oscilação desse parâmetro ocorreu na cidade de Brasília, que apresentou os valores de 1,70% para o painel interno de madeira e 1,71% para o de bambu.

Em relação à dispersão do teor de umidade entre a camada interna e externa dos painéis, os valores mais elevados do coeficiente de variação foram encontrados em Passo Fundo, tanto para os painéis de madeira (15,97%) quanto para os de bambu (17,15%). Já os menores valores apresentados foram na cidade de Cuiabá (4,72%) para o aglomerado de madeira e Goiânia

(5,22%) para os painéis de bambu.

No que concerne à variação dos painéis de diferentes materiais para a mesma camada, os valores mais elevados para os painéis tanto da camada interna (4,66%) quanto externa (7,99%), foram encontrados na cidade de Passo Fundo. Os menores valores do coeficiente de variação entre diferentes materiais na mesma camada foram registrados em Brasília, com o valor de 1,71% para camada interna e 3,35% para a camada externa.

**Gráfico 18: Teor de umidade nos painéis externos de madeira**



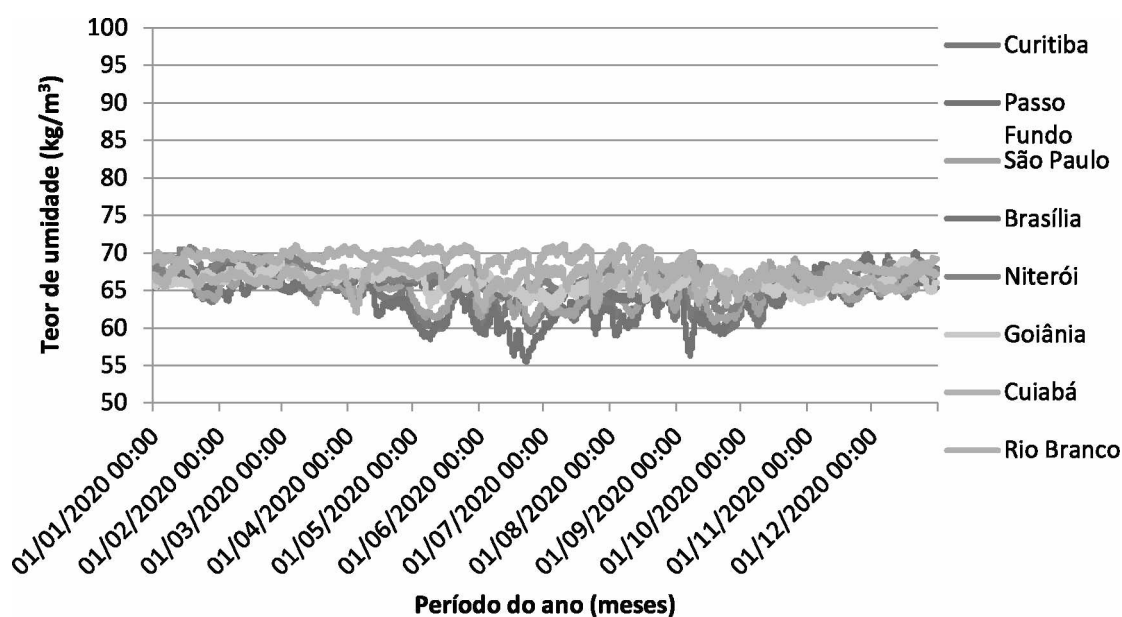
Em relação aos painéis externos de madeira, a cidade que apresentou o valor mais distante da média do teor de umidade foi Cuiabá, com 64,48 kg/m<sup>3</sup>. A cidade que mais se aproximou da média do teor de umidade dos painéis externos de madeira foi Brasília, com 76,48 kg/m.

**Tabela 38: Valores do teor de umidade nos painéis externos de madeira**

	Teor de umidade [kg/m <sup>3</sup> ]
Média das 8(oito) zonas bioclimáticas	<b>77,28</b>
Desvio padrão das 8(oito) zonas bioclimáticas	7,68
Coefficiente de variação das 8(oito) zonas bioclimáticas	9,94%



**Gráfico 19: Teor de umidade nos painéis internos de madeira**

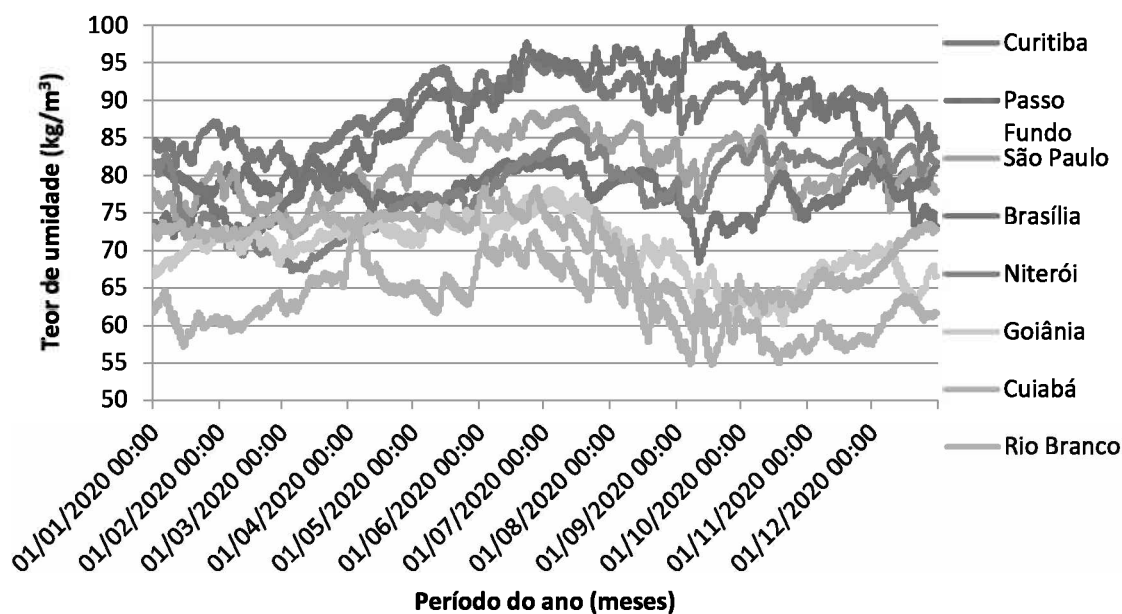


Já em relação aos painéis internos de aglomerado de partículas de madeira, o local com valor mais distante da média foi Rio Branco, com 68,82 kg/m<sup>3</sup>. Já a cidade que ficou mais próxima da média dos painéis internos de madeira foi novamente Brasília, com 65,80 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabela 39: Valores do teor de umidade nos painéis internos de madeira**

	Teor de umidade [kg/m <sup>3</sup> ]
Média das 8(oito) zonas bioclimáticas	<b>65,88</b>
Desvio padrão das 8(oito) zonas bioclimáticas	1,60
Coefficiente de variação das 8(oito) zonas bioclimáticas	2,43%

**Gráfico 20: Teor de umidade nos painéis externos de bambu**



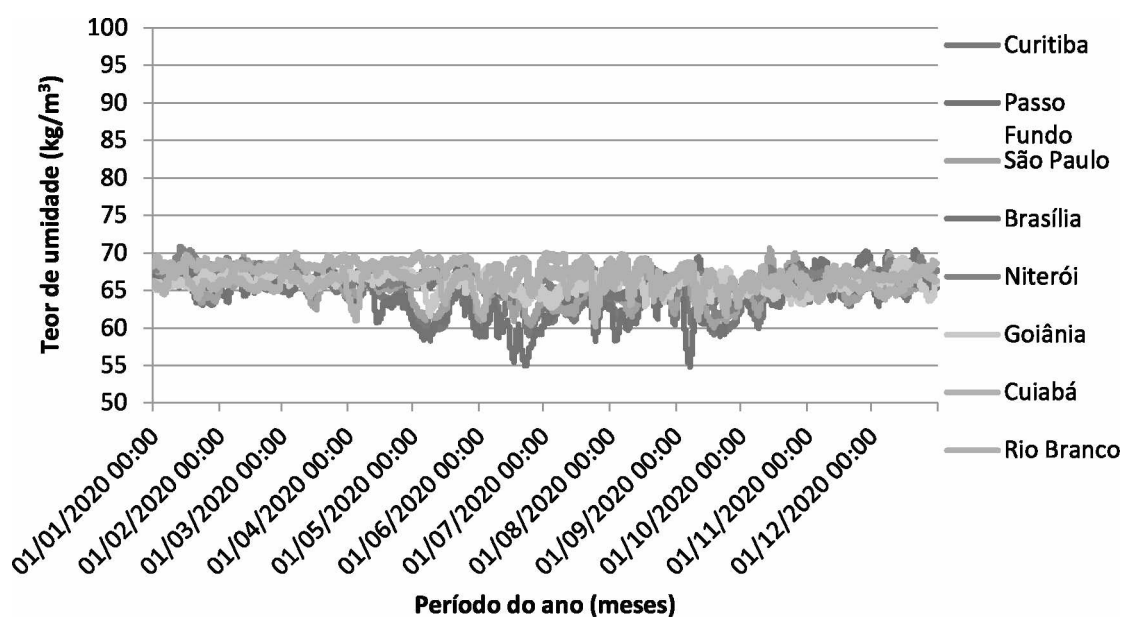
Seguindo esse mesmo parâmetro de observação em relação às placas externas de bambu, podemos constatar que Cuiabá foi a cidade que apresentou o valor do teor de umidade ( $62,95 \text{ kg/m}^3$ ) mais distante da média enquanto, outra vez Brasília ficou com o valor mais próximo ( $77,64 \text{ kg/m}^3$ ).

**Tabela 40: Valores do teor de umidade nos painéis externos de bambu**

	Teor de umidade [ $\text{kg/m}^3$ ]
Média das 8(oito) zonas bioclimáticas	<b>77,05</b>
Desvio padrão das 8(oito) zonas bioclimáticas	8,86
Coefficiente de variação das 8(oito) zonas bioclimáticas	11,49%

Vale destacar que os painéis externos de bambu apresentaram um coeficiente de variação mais elevado (11,49%) do que os painéis externos de madeira (9,94%), conforme observado nas tabelas 38 e 40.

**Gráfico 21: Teor de umidade nos painéis internos de bambu**



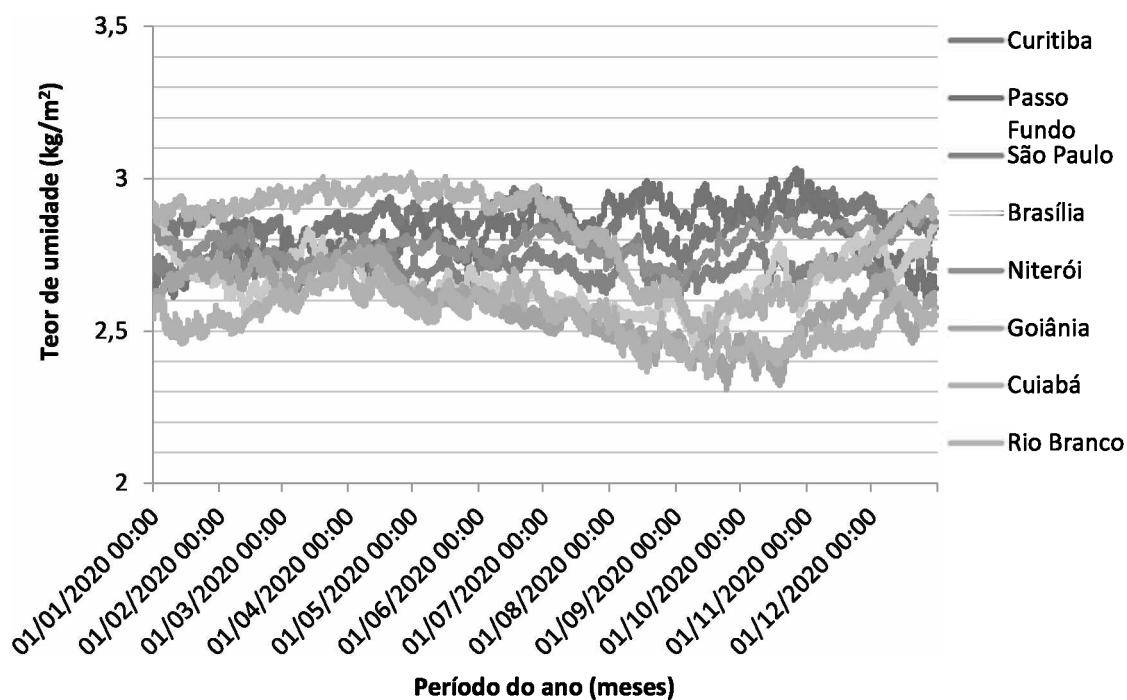
Ao observarmos o valor da média dos painéis internos de bambu, podemos verificar que a cidade que mais ficou distante da média nesse quesito foi Passo Fundo, com 63,98 kg/m<sup>3</sup>. Já a cidade que mais se aproximou da média do teor de umidade dos painéis internos de bambu foi Niterói, com 66,67 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabela 41: Valores do teor de umidade nos painéis internos de bambu**

	Teor de umidade [kg/m <sup>3</sup> ]
Média das 8(oito) zonas bioclimáticas	<b>65,70</b>
Desvio padrão das 8(oito) zonas bioclimáticas	1,22
Coefficiente de variação das 8(oito) zonas bioclimáticas	1,86%

Podemos notar que os painéis internos de partículas de bambu registraram um coeficiente de variação mais baixo (1,86%) do que os painéis internos de partículas de madeira (2,43%), de acordo com os dados disponibilizados nas tabelas 39 e 41.

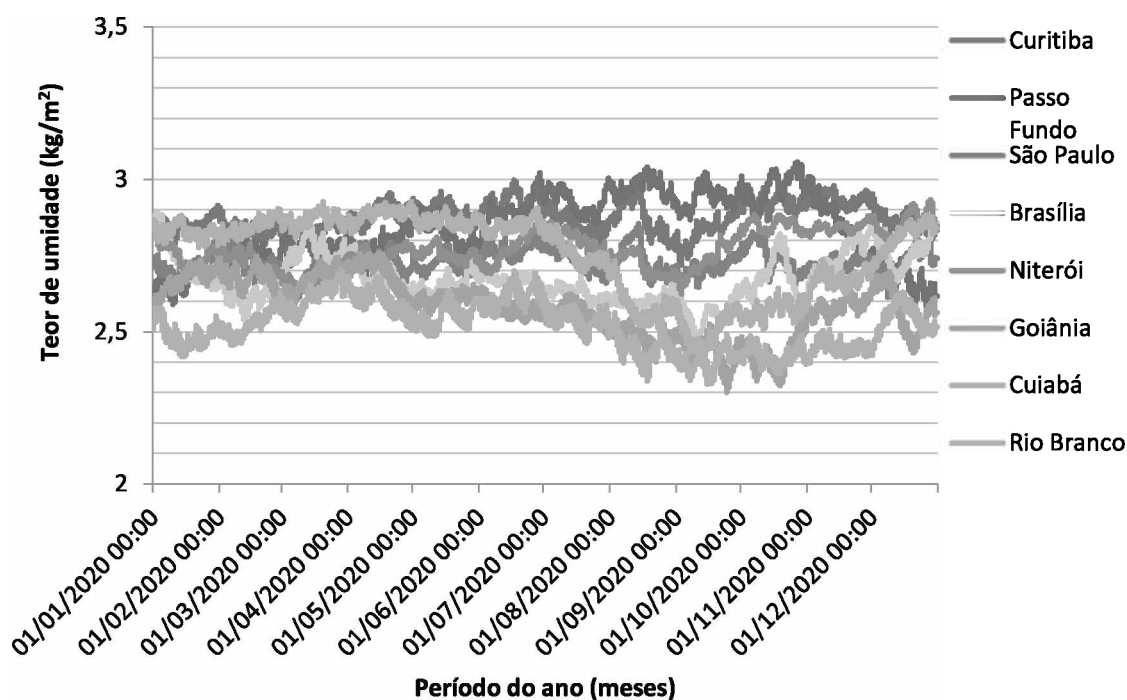
**Gráfico 22: Teor de umidade total – Painéis de madeira**



**Tabela 42: Valores do teor de umidade total – Sistema com painéis de madeira**

	Teor de umidade [kg/m³]							
	Curitiba	Passo Fundo	São Paulo	Brasília	Niterói	Goiânia	Cuiabá	Rio Branco
Média	2,86	2,81	2,71	2,65	2,78	2,58	2,54	2,81
Desvio padrão	0,046	0,093	0,036	0,081	0,050	0,104	0,079	0,145
Coefficiente de variação	1,61%	3,31%	1,33%	3,06%	1,80%	4,03%	3,11%	5,16%
Média das 8(oito) zonas bioclimáticas								
2,72								
Desvio padrão das 8(oito) zonas bioclimáticas								
0,12								
Coefficiente de variação das 8(oito) zonas bioclimáticas								
4,32%								

**Gráfico 23: Teor de umidade total – Painéis de bambu**

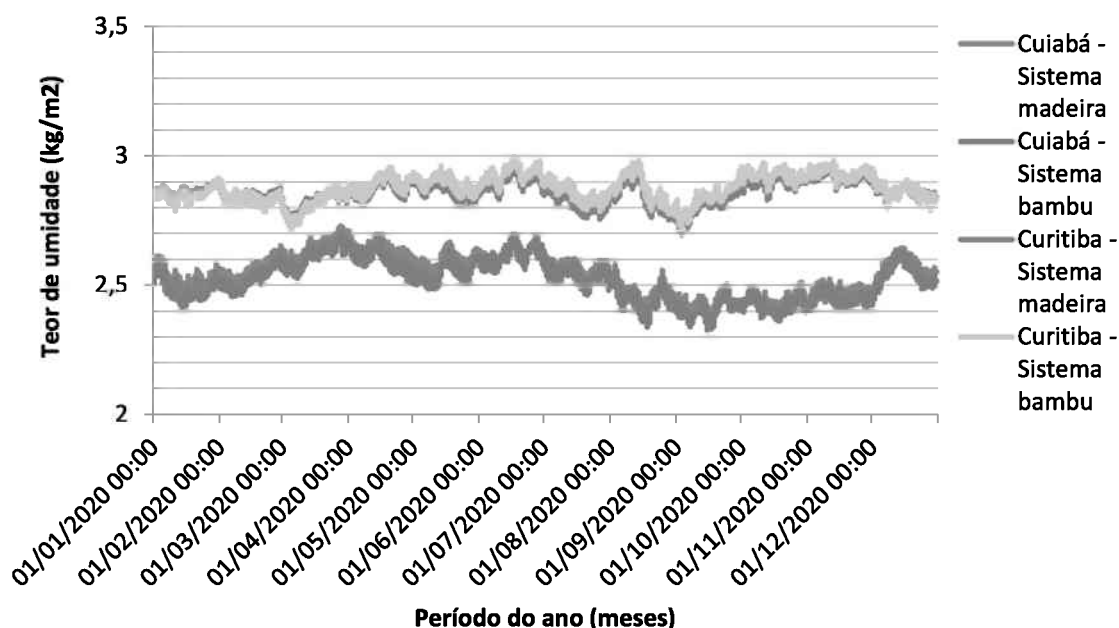


**Tabela 43: Valores do teor de umidade total – Sistema com painéis de bambu**

	Teor de umidade [kg/m <sup>3</sup> ]							
	Curitiba	Passo Fundo	São Paulo	Brasília	Niterói	Goiânia	Cuiabá	Rio Branco
Média	2,87	2,83	2,72	2,67	2,77	2,57	2,51	2,75
Desvio padrão	0,050	0,111	0,041	0,077	0,063	0,097	0,080	0,132
Coefficiente de variação	1,74%	3,92%	1,51%	2,88%	2,27%	3,77%	3,19%	4,80%
Média das 8(oito) zonas bioclimáticas								
2,71								
Desvio padrão das 8(oito) zonas bioclimáticas								
0,12								
Coefficiente de variação das 8(oito) zonas bioclimáticas								
4,55%								

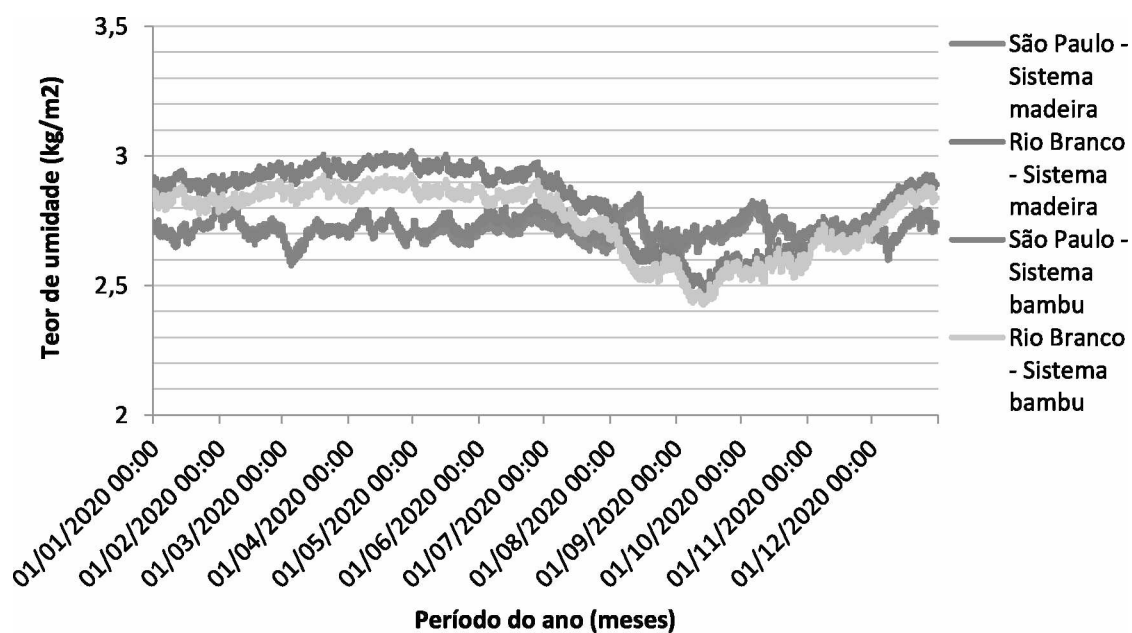
Em relação à média do teor de umidade das 8(oito) zonas bioclimáticas, o sistema composto por painéis de aglomerado de partículas de madeira apresentou o valor de 2,72 kg/m<sup>3</sup>, mais elevado que o registrado para o sistema de painéis de bambu (2,71 kg/m<sup>3</sup>). Porém, o coeficiente de variação do sistema com painéis de bambu (4,55%) apresentou um valor mais alto que o do sistema formado por painéis de madeira (4,32%).

**Gráfico 24: Maior e menor média do teor de umidade total**



A maior média do teor de umidade total entre as cidades foi de Curitiba sendo que, nesse local, o sistema de bambu ( $2,87 \text{ kg/m}^3$ ) apresentou uma média superior ao de madeira ( $2,86 \text{ kg/m}^3$ ). Já a menor média foi verificada na cidade de Cuiabá, sendo que a do sistema composto por painéis de madeira ( $2,54 \text{ kg/m}^3$ ) foi maior que a do sistema composto por painéis de bambu ( $2,51 \text{ kg/m}^3$ ).

**Gráfico 25: Maior e menor coeficiente de variação do teor de umidade total**



O maior coeficiente de variação do teor de umidade entre as cidades foi de Rio Branco e, entre os sistemas nessa localidade, o sistema composto por painéis de madeira (5,16%) apresentou valor superior ao de bambu (4,80%). Já o menor coeficiente de variação foi observado na cidade de São Paulo, sendo que nesse local, o sistema composto por painéis de madeira (1,33%) apresentou valor inferior ao de bambu (1,51%).

**Tabela 44: Quadro resumo em relação à média do teor de umidade.**

	Aglomerado de partículas de madeira		Aglomerado de partículas de bambu	
	Painel externo	Painel interno	Painel externo	Painel interno
Z1 – Curitiba	✓	✓		
Z2 – Passo Fundo	✓	✓		
Z3 – São Paulo	✓	✓		
Z4 – Brasília	✓	✓		
Z5 – Niterói			✓	✓
Z6 – Goiânia			✓	✓
Z7 – Cuiabá			✓	✓
Z8 – Rio Branco			✓	✓

✓ - Melhor desempenho

**Tabela 45: Quadro resumo em relação ao coeficiente de variação do teor de umidade.**

	Aglomerado de partículas de madeira		Aglomerado de partículas de bambu	
	Painel externo	Painel interno	Painel externo	Painel interno
Z1 – Curitiba	✓	✓		
Z2 – Passo Fundo	✓	✓		
Z3 – São Paulo	✓	✓		
Z4 – Brasília	✓	✓		
Z5 – Niterói		✓	✓	
Z6 – Goiânia	✓	○		○
Z7 – Cuiabá	✓	✓		
Z8 – Rio Branco		○	✓	○

✓ - Melhor desempenho

○ - Desempenhos iguais

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista que o objetivo do trabalho foi avaliar o comportamento higrotérmico de sistema construtivo composto de painel de aglomerado de partículas de bambu por meio do *software* WUFI, foi constatado que o elemento em estudo atingiu um desempenho um pouco superior, em termos de **teor de umidade total**, do que o sistema composto por painéis de madeira, apresentando um valor  $0,01 \text{ kg/m}^3$  menor na média das 8 (oito) zonas bioclimáticas. Porém, teve um desempenho inferior em relação ao **coeficiente de variação**, sendo 0,23% mais disperso que o sistema formado pelos painéis de aglomerado de madeira.

Em relação aos objetivos específicos, a confecção dos painéis de aglomerado de partículas utilizando resíduos provenientes da laminação foi executada e produziu os corpos de prova necessários para os ensaios, porém, deve ser aperfeiçoada a fim de gerar cada vez menos placas com densidade abaixo do previsto para a realização do estudo comparativo. Em relação ao ganho de massa dos ensaios, tanto o de absorção capilar quanto o de permeabilidade ao vapor de água apresentaram baixos coeficientes de variação, sendo o maior deles de 13,39%.

Foi determinado por meio de ensaios propriedades do material que condicionam a capacidade de armazenamento de umidade que permitiram auferir os indicadores Fator de Resistência à Difusão de Vapor de Água ( $\mu = 38$ ) e quantidade de água absorvida por unidade de superfície dos corpos de prova ao final de 24 horas ( $0,015 \text{ Kg/m}^2/\text{s}^{1/2}$ ).

Em relação à modelagem das paredes de painéis de bambu no programa computacional WUFI, a inserção de dados de entrada provenientes dos ensaios laboratoriais proporcionou a criação de um material inexistente no banco de dados do *software*, além de gerar resultados com um vínculo mais forte às características do objeto em estudo.

Do estudo de sensibilidade a ser realizado com o tipo de material do painel, a localização dentro do sistema construtivo e a zona bioclimática, foi possível



visualizar um panorama da influência desses parâmetros significativos para a caracterização do objeto em estudo, relacionado a uma das principais causas de deterioração dos edifícios, a umidade. Nas zonas bioclimáticas de Curitiba (Z1), Passo Fundo (Z2), São Paulo (Z3) e Brasília (Z4), os painéis de aglomerado de partículas de madeira, tanto externo quanto interno, obtiveram melhor desempenho em relação à média e ao coeficiente de variação do teor de umidade. Já nas cidades de Niterói (Z5), Goiânia (Z6), Cuiabá (Z7) e Rio Branco (Z8), os painéis de bambu internos e externos obtiveram desempenho superior em termos de média do teor de umidade. Em relação ao coeficiente de variação nas zonas bioclimáticas Z5 a Z8, o bambu teve melhor desempenho no painel externo em Niterói e no painel externo em Rio Branco. No painel externo em Goiânia e nos painéis externo e interno de Cuiabá, o aglomerado de madeira teve uma performance superior. Nos painéis internos de Goiânia e Rio Branco, o desempenho foi exatamente igual entre os dois materiais.

No que concerne às limitações deste trabalho, podemos citar a falta de uma caracterização mais completa das propriedades higrotérmicas do material que poderiam ser obtidas por meio de ensaios como o de condutibilidade térmica e o de curva de retenção.

Podem ser apontados como estudos futuros a produção de painéis com outras espécies de bambu compatíveis com a laminação, variações na granulometria e proporção das partículas, na espessura das placas, a utilização de outros tipos de adesivos, diferentes densidades e técnicas de prensagem. Outros possíveis estudos futuros são a realização de simulações com um maior número de variáveis, como outras orientações, outros contextos climáticos e outras configurações de sistemas construtivos.

Para uma verificação mais completa do desempenho do painel, devem ser realizados estudos como o de resistência ao fogo, durabilidade, envelhecimento acelerado, desempenho acústico, entre outros. Além disso, a realização de ensaios referentes às propriedades mecânicas do painel como, por exemplo, ensaios de tração, flexão e de impacto, são essenciais para uma caracterização mais abrangente do material.

Espero que este estudo possa contribuir com a cadeia produtiva ainda incipiente deste ativo ambiental bastante promissor, que além de ser útil em sua forma tubular, ao ser industrialmente processado, pode ser aplicado na forma de diferentes componentes construtivos, entre eles, os painéis de vedação, objeto deste trabalho.

## 6. REFERÊNCIAS

AFONSO, Dixon Gomes. *Bambu nativo (Guadua spp.): Alternativa de desenvolvimento econômico e sustentável para o Estado do Acre*. Curitiba, 2011.

ALMEIDA, M. D; ALMEIDA J. G; SANTOS, A. C. *Produtividade de colmos para a produção industrial de bambu laminado colado*. III Seminário Nacional do Bambu. Goiânia, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15220-3 Desempenho Térmico de Edificações - Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social. Rio de Janeiro, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D1037. Evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials. Philadelphia, Pa. 1995.

AZZINI, Anísio; SALGADO, Antônio Luiz de Barros. *Possibilidades agrícolas e industriais do bambu*. O Agrônomo. Campinas, vol. 33, 1981.

\_\_\_\_\_. *Conservação do bambu*. O Agrônomo. Campinas, vol. 46, 1994.

BARBOSA, J. C; INO, A. Ligações em estruturas pré-fabricadas de bambu: sistematização das técnicas. In: NUTAU – Núcleo de Tecnologia Arquitetura e Urbanismo – Pré-moldados e habitação social, 1996.

BAUER, E. Resistência a Penetração da Chuva em Fachadas de Alvenaria de Materiais Cerâmicos – Uma Análise de Desempenho. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1987.

BAUER, E.; CASTRO, E.K.; ANTUNES, G. R. Patologias mais correntes nas fachadas de edifícios em Brasília. 3º. Congresso Português de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa, 2010.

BAUER, E; SILVA, M.N.B.; ZANONI, V.A.G. Mensuração da degradação e vida útil em fachadas. In: XI SBTA – Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Anais ... ANTAC: Porto Alegre, 2015.

BERALDO, Antonio L. *Bambucreto: o uso do bambu como reforço do concreto*. In: XVI CONBEA, Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Anais. Jundiaí/SP, v. II, 1987.

BERALDO, Antonio L.; AZZINI, A. *Bambu: características e aplicações*. Guaíba: Editora Agropecuária, 2004.

BERALDO, Antonio L.; PEREIRA Marco A. R. *Bambu de corpo e alma*. Bauru, SP: Canal 6, 2007.

BUSON, Márcio A. *Kraftterra: Desenvolvimento e análise preliminar do desempenho técnico de componentes de terra com a incorporação de fibras de papel kraft provenientes da reciclagem de sacos de cimento para vedação vertical*. Tese de Doutorado. FAU-UnB, Brasília, 2009.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. *Boas práticas para habitação mais sustentável*. São Paulo: Editora Páginas & Letras, 2010.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO – CBIC. *Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013*. Fortaleza, 2013.

CEN, EN 12572: ***Hygrothermal Performance of Building Materials and Products - Determination of water vapour transmission properties***, 2001.

CEN, EN 12571: ***Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of hygroscopic sorption properties***. European Committee for Standardization, Brussels, Belgian, 2000

CEN, EN ISO 15148: ***Hygrothermal Performance of Building Materials and Products. Determination of Water Absorption Coefficient by Partial Immersion***, 2002.

CEN, EN ISO 12859: ***Hygrothermal performance of building materials and products - Determination of water vapour transmission propertie: 2001 s***.

CEN, EN 12664: ***Desempenho Térmico de Materiais e Produtos de Construção***. Determinação da Resistência Térmica por meio de Métodos de Placa Quente e Medidor de Fluxo de Calor Guardado. Produtos Secos e Úmidos de Resistência Térmica Média e Baixa 2001.

COELHO, G. B. A. ***Análise do comportamento higrotérmico em regime variável de paredes sujeitas à ação da chuva incidente***. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2015.

COUTINHO, R. B. G.; MACEDO-SOARES, T. D. L. V. A. *Gestão Estratégica com Responsabilidade Social: Arcabouço Analítico para auxiliar sua implementação em empresas no Brasil*. Revista de Administração Contemporânea, v.6, n. 3, 2002.

DIAS, Genebaldo Freire. *Pegada ecológica e sustentabilidade humana: as dimensões humanas das alterações ambientais*. São Paulo: Gaia, 2002.

DELGADO, J. ***Influência das Condições Climáticas Exteriores, em WUFI 2010*** - Workshop sobre Simulação Higrotérmica. Porto, FEUP, Março 2010.

DELGADO, J. M. P. Q., Ramos, N. M., M., Barreira, E. Freitas, V. P. *A Critical Review of Hygrothermal Models Used in Porous Building Materials*, Laboratório de Física de Construções, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do

Porto, Porto, 2008.

DELGADO, J.; Freitas, V.; Ramos, N.; Barreira, E. *Numerical Simulation of Exterior Condensations on Façades: The Undercooling Phenomenon*. Proceedings of the Thermal Performance of Exterior Envelopes of Whole Buildings XI International Conference, 5-9 December, 2010, Clearwater Beach, Florida, USA.

DIN 52617:1987 – **Determination of the water absorption coefficient of construction materials**

FARIAS, A. R.; MINGOTI, R.; VALLE, L. B.; SPADOTTO, C. A.; LOVISI FILHO, E. **Identificação, mapeamento e quantificação das áreas urbanas do Brasil**. Comunicado Técnico. Embrapa Gestão Territorial (SGTE), Campinas, 2017.

FREITAS, A. S. S. L. A. **Avaliação do Comportamento Higrotérmico de Revestimentos Exteriores de Fachadas devido à Acção da Chuva Incidente**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2011.

FREITAS, V. P. **Transferência de Humidade em Paredes de Edifícios – Análise do Fenómeno de Interface**. Tese de Doutoramento, FEUP, Porto, 1992.

FREITAS, V. P.; PINTO, P. **Permeabilidade ao Vapor de Materiais de Construção. Condensações Internas**. NIT 002. LFC, Porto, Portugal, 1998.

FREITAS, V. P.; TORRES, M. I.; GUIMARÃES, A. S. **Humidade Ascensional**, FEUP Edições.2008.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. *Propriedades Mecânicas dos Colmos dos Bambus das Espécies: Mosó e Guadua angustifolia para utilização na Engenharia*. Publicação: RMNC-2 Bambu 02, Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio, 2002.

GIONGO, M. **Análise do Nível de Exposição das Edificações à Chuva Dirigida para Florianópolis**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

GRAÇA, Vera Lúcia. *Bambu: Técnicas para o cultivo e suas aplicações*. 2ª Ed. São Paulo: Ícone, 1988.

HEEBINK, B. G. *Wax in particleboards*. In: Symposium on Particleboard, 1<sup>st</sup> Proceedings, Washington State University, 1967.

IBP - FRAUNHOFER INSTITUTE FOR BUILDING PHYSICS. **WUFI Pro 6.1.**, Holzkirchen, Germany, 2017.

JANSSEN, J. J. A. *Building with bamboo*. London: Intermediate Technology Publications. 1988.

\_\_\_\_\_. *Designing and building with bamboo*. INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN (INBAR). Technical report. n. 20. Beijing, China. 2000.

JORNE, F.J.F. **Análise do Comportamento Higrotérmico de Soluções Construtivas de Paredes em Regime Variável**, Universidade Nova de Lisboa, 2010.

JOSÉ, Flávio Januário. **Chapa de partículas homogêneas de bambu aglomeradas com resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona**. Dissertação (mestrado). UEC, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2006.

KARAGIOZIS, A.; KÜNZEL, H.; HOLM, A. WUFI-ORNL/IBP. *A North American Hygrothermal Model. Proceedings of the Thermal Performance of Exterior Envelopes of Whole Buildings VIII: Integration of Building Envelopes*, 2-7 December, 2001, Clearwater Beach, Florida, USA.

KUMARAN, M. *Heat, air and moisture transfer through new and retrofitted insulated envelope parts*. Task 3 Material properties. International Energy Agency (IEA) ANNEX 24 – Final Report. K. U.-Leuven, Leuven, Belgium, 1996.

LAMBERTS, R. et al. **Desempenho térmico de edificações**. Apostila da disciplina ECV 5161 do LABEEE Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3.ed. Rio de Janeiro: Eletrobras Procel Edifica, 2013.

LANZINHA, J., FREITAS, V.P. **Propriedades Higrotérmicas de Materiais de Construção** –Um Catálogo. 6as Jornadas de Construções Civas –Umidade na Construção, 26 de Novembro de 1998, pp. 127-131, FEUP, Porto, 1998.

LIESE, W. *The Anatomy of bamboo culms*. INBAR – International Network for bamboo and rattan. China: Technical Report. 1998.

LÓPEZ, Oscar Hidalgo. *Bamboo the gift of the gods*. 1ª ed. Bogotá, Colômbia: D'VINNI LTDA, 2003.

MARÇAL, V. H. S. **Análise comparativa de normas técnicas internacionais para o emprego do bambu – colmo em estruturas prediais**. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 2018.

MELO JÚNIOR, C. M. **Influência da Chuva Dirigida e dos Detalhes Arquitetônicos na Durabilidade de Revestimentos de Fachada**. 2010. 204 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

MOIZÉS, Fábio Alexandre. *Painéis de Bambu, uso e aplicações: uma experiência didática nos cursos de Design em Bauru, São Paulo*. 2007.

MOTA, R. S. da. *Desafios ambientais da economia brasileira*. Rio de Janeiro: IPEA, 1997.

NASCIMENTO, M. F. *Chapas de partículas homogêneas – madeiras do Nordeste do Brasil*. Tese de Doutorado em Engenharia de Materiais. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003.

ONU. Relatório sobre os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio. United Nations, New York, 2015.

PEIXOTO, L. K. *Sistema construtivo em bambu laminado colado: proposição e ensaio do desempenho estrutural de uma treliça plana do tipo Warren*. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 2008.

PEREIRA, Marco Antônio dos Reis. *Bambu: Espécies, características e aplicações*. Apostila. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de São Paulo. Bauru, 2001.

PETRUCCI, H. M. C. **A Alteração da Aparência das Fachadas dos Edifícios: Interação Entre as Condições Ambientais e a Forma Construída**. 2000. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

PRIORI JUNIOR, Luiz; MENEZES, José Roberto de. *Construção Sustentável: potencialidades e desafios para o desenvolvimento sustentável na construção civil*. Sindicato da indústria da construção civil de Pernambuco, Recife, 2008.

QISHENG, Z.; SHENXUE, J. *Bamboo Based Panels in China*. Forestry University, China: Bamboo Engineering Research Center Nanjing. 2001.

RAMOS, N.M.M. **A Importância da Inércia Higroscópica no Comportamento Higrotérmico dos Edifícios**. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto- FEUP, 2007.

RIBEIRO, A.S. *Carvão de bambu como fonte energética e outras aplicações*. Instituto do Bambu. Maceió. Instituto do Bambu, 2005.

SALAMON, C. *Ensaio para viabilizar a laminação do bambu *Dedrocalamus giganteus* em operações de torneamento sem centros*. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009.

SALGADO, A. L. de Barros; GODOY Jr., Gentil. *O bambu em nossa vida, nossa cultura, seu cultivo e utilização*. In: Seminário Internacional: O uso do bambu na construção civil. Alagoas, 2002.

SANTOS, A. N. *Comportamento Higrotérmico de paredes em gesso - Avaliação da Adequabilidade a Zonas Climáticas do Brasil*, Tese de Doutorado de Engenharia Civil, FEUP, 2017.

SANTOS, J A. *É fácil cultivar bambu*. Manuais Práticos Vida: Um guia de auto-suficiência. São Paulo: Editora Três, 1986.

SILVA, M. N. B. *Avaliação quantitativa da degradação e vida útil de revestimentos de fachada – aplicação ao caso de Brasília/DF*. Tese (Doutorado) Universidade de Brasília, 2014.

SILVA, M.N.B.; BAUER, E; CASTRO, E. K.; ZANONI, V.A.G. Distribuição de ocorrência de danos e patologias em fachadas de Brasília – estudo de caso. In: ARGAMASSAS 2014 – I Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento. ITECons/ APFAC. Anais...Universidade de Coimbra, Portugal, 2014.

SILVA, R. M. de C. e. *Caracterização do Taquaruçu (Guadua fp.) e do seu ambiente de ocorrência na Bacia do Rio Crixás-Açu, Goiás, Brasil*. 81f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2005.

STRAUBE, J. F. *Moisture in buildings*. ASHRAE Journal, v. 44, n. 1, p. 15–19, 2002.

STRAUBE, J.; BURNETT, E. *Moisture Analysis and Condensation Control in Building Envelopes*. American Society for Testing and Materials, p. 81–89, 2001.

STRAUBE, J.F. *Moisture control and enclosure wall systems*. Ph.D. Thesis, University of Waterloo, Ontario, Canada, 1998.

TEIXEIRA, Anelizabeth Alvez. *Painéis de Bambu para Habitações Econômicas: Avaliação do desempenho de painéis revestidos com argamassa*. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 2006.

VALARELLI, I.D.; BATISTELLE, R. A. G.; GONÇALVES, M. T. T.; SAMPAIO, R. M. *Avaliação de propriedades físicas e Mecânicas de chapas aglomeradas de partículas de colmo e folha caulinar de bambu Dendrocalamus giganteus*. Revista Madeira Arquitetura & Engenharia, nº 24, ano 10, 2009.

WEBER, C.; *Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados*. Universidade Federal do Paraná, 2011.

ZANONI, V. A. G. *Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília*. Tese (Doutorado) Universidade de Brasília, 2015.



## ANEXO I



### PHENOTAN AG

ADESIVO PARA AGLOMERADOS

**PHENOTAN AG** é uma resina de origem vegetal desenvolvida para fabricação de chapas de madeira.

#### CONSTITUIÇÃO QUÍMICA

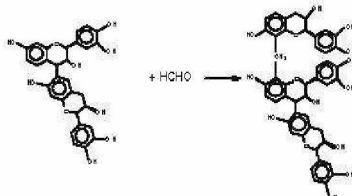
**PHENOTAN AG** consiste de uma modificação química do extrato de Acácia Negra, que confere excelente performance em termos de reatividade, viscosidade, tração e resistência à água.

Genericamente, os extratos de Acácia Negra (comumente conhecidos como taninos vegetais ou extratos de Mimosa) são compostos de unidades monomérica flavonóides (compostos polifenólicos) polimerizados em vários graus de concentração, e encontram-se associados com estruturas como flavan 3-ol, flavan 3,4 diol, carboidratos (pinitol, sucrose, glicose) e pequenas quantidade de amino/imino-ácidos.



Considerando que as estruturas acima mostradas são similares aos compostos fenólicos, os extratos de Mimosa ou suas modificações (como o **PHENOTAN AG**) reagem pelo mesmo mecanismo já conhecido como o formaldeído.

Formaldeído reage com taninos modificados para produzir uma polimerização, via pontes metilênicas, em posições reativas de moléculas flavonóides, principalmente nos anéis aromáticos do tipo A.



### O USO DE PHENOTAN AG NA FABRICAÇÃO DE MADEIRA AGLOMERADA

**PHENOTAN AG** apresenta-se na forma líquida (solução aquosa à 45 % de sólidos totais) ou na forma de um pó marrom.

A faixa de pH do produto é de 6,6 – 6,9, e sua viscosidade na forma líquida é de no máximo 700 cP.

### SUGESTÃO PARA FORMULAÇÃO DO ADESIVO

	CAMADA INTERNA	CAMADA EXTERNA
<b>PHENOTAN AG</b> (Solução Aquosa à 45% sólidos)	100	100
Etanol (Álcool Etilico)	5	10
Formalina (37%)	10	10

As condições de prensagem seguem à indicações usuais, como por exemplo:

Tempo	15 s / mm
Pressão	25 kgf / cm <sup>2</sup> (típico)
Temperatura	160 ° C

Quantidade de adesivo (% de sólidos de adesivos sobre o peso de madeira seca)	8 – 9 (camada interna) 12 – 13 (camada externa)
--	--

A reação do formaldeído com **PHENOTAN AG** pode ser controlada pela adição de álcoois ao sistema. Nesta condição, parte do formaldeído é estabilizado pela formação

TANAC S. A. -Rua T. Weibull 199 -Montenegro -RS - Brasil - 95780-000 - Fone: 051 36324055 - Fax: 051 36322499/2863  
E-mail: tanac@tanac.com.br



de hemi-acetais,  $\text{CH}_2(\text{OH})(\text{OCH}_3)$  se metanol for usado ou  $\text{CH}_2(\text{OH})(\text{OC}_2\text{H}_5)$  no caso do etanol.

Durante o momento da cura do adesivo a uma temperatura (como  $160^\circ\text{C}$ ) o álcool volatiliza a uma taxa constante e o formaldeído é progressivamente liberado dos hemi-acetais. Este fato assegura que menor quantidade de formol é volatilizado enquanto os reagentes vão atingindo a temperatura de cura e, também, que o pot-life do adesivo é aumentado.

Visando obter uma chapa aglomerada resistente à intempérie (Norma DIN – V 100), recomenda-se incrementar a quantidade de adesivo sobre peso de madeira seca, para 13 – 15 % para a camada interna e 15 – 17 % para a camada externa. Esse aumento permite melhorar a resistência interna da colagem e reduzir o inchamento da chapa à níveis compatíveis com a norma de fabricação de um aglomerado resistente ao tempo. O uso do adesivo PHENTOTAN AG – formaldeído resulta em uma chapa menos susceptível ao inchamento do que com as resinas UF, devido à sua constituição química (estruturas polifenólicas). Enquanto à resina uréia-formol (UF) contém grupamentos amino hidrofílicos e ávidos por reagir com água, PHENTOTAN AG apresenta em sua composição cadeira hidrofóbicas reduzindo o risco do indesejável inchamento.

A adição de 1 % de uma emulsão de parafina, sobre peso de madeira seca melhora as características de resistência a intempérie das chapas fabricadas.

#### **VANTAGENS DO PHENTOTAN AG NA FABRICAÇÃO DE MADEIRA AGLOMERADA**

As principais vantagens são:

##### **☞ Baixos níveis de liberação de formaldeído**

**PHENTOTAN AG** confere ao aglomerado baixos índices de liberação de formol, parâmetro importante principalmente em chapas de uso inferior. (Classificação E1, conforme norma DIN EN –120).

##### **☞ Fácil manuseio e Não-Corrosivo**

O pH do **PHENTOTAN AG** situa-se entre 6,6 – 6,9. Tal neutralidade do adesivo torna o produto não corrosivo e seguro de manusear, além da baixa tonalidade do mesmo principalmente se comparado com as outras resinas sintéticas.

##### **☞ Maior vida útil (shelf-life)**

TANAC S. A. - Rua T. Weibull 199 - Montenegro - RS - Brasil - 95780-000 - Fone: 051 36324055 - Fax: 051 36322499/2863  
E-mail: tanac@tanac.com.br



O uso de um endurecedor separado e que não vem já incorporado à resina, permite ao **PHENOTAN AG** atingir uma maior vida útil.

A outra vantagem é a possibilidade de estocar o produto na forma pó (**PHENTOAN AG**) por longos períodos (mais do que 6 meses). Quando da necessidade de uso o produto, o mesmo pode ser hidratado em água, na quantidade e no momento mais adequado ao aplicador.

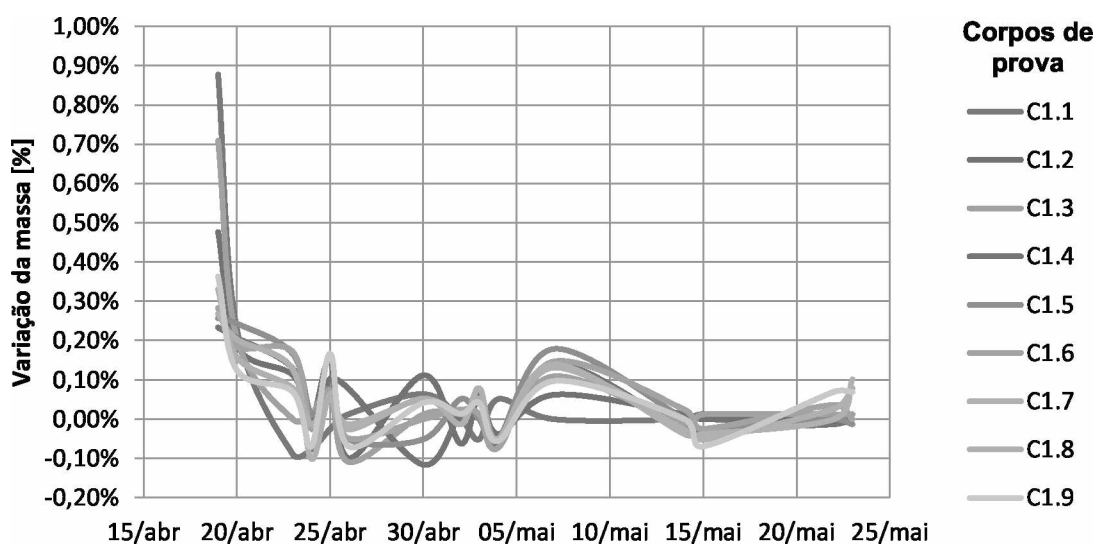
## ANEXO II

**Tabela 46: Variação da massa dos corpos de prova (g) – Série 1**

	18/abr	19/abr	20/abr	23/abr	24/abr	25/abr	26/abr	30/abr	02/mai	03/mai	04/mai	07/mai	14/mai	15/mai	22/mai	23/mai
<b>C1.1</b>	77,55	78,23	78,41	78,34	78,28	78,26	78,27	78,32	78,32	78,28	78,32	78,32	78,32	78,33	78,33	78,32
<b>C1.2</b>	79,79	80,17	80,32	80,41	80,41	80,53	80,45	80,54	80,49	80,54	80,51	80,56	80,57	80,57	80,57	80,58
<b>C1.3</b>	81,85	82,43	82,60	82,60	82,61	82,67	82,58	82,59	82,60	82,61	82,56	82,65	82,64	82,65	82,66	82,67
<b>C1.4</b>	77,14	77,32	77,48	77,58	77,57	77,65	77,71	77,62	77,63	77,63	77,58	77,69	77,67	77,65	77,64	77,64
<b>C1.5</b>	77,80	78,00	78,19	78,32	78,33	78,39	78,35	78,31	78,35	78,35	78,31	78,45	78,45	78,43	78,43	78,42
<b>C1.6</b>	81,28	81,51	81,66	81,80	81,78	81,84	81,80	81,80	81,82	81,83	81,77	81,89	81,91	81,89	81,92	81,92
<b>C1.7</b>	78,40	78,61	78,77	78,87	78,79	78,84	78,83	78,87	78,88	78,92	78,88	78,99	78,96	78,93	78,93	79,01
<b>C1.8</b>	75,63	75,88	76,00	76,06	76,05	76,09	76,07	76,11	76,10	76,16	76,12	76,22	76,20	76,16	76,18	76,24
<b>C1.9</b>	71,66	71,92	72,01	72,06	72,01	72,13	72,08	72,11	72,12	72,15	72,11	72,18	72,18	72,13	72,18	72,23

**Tabela 47: Variação da massa dos corpos de prova (%) – Série 1**

	19/abr	20/abr	23/abr	24/abr	25/abr	26/abr	30/abr	02/mai	03/mai	04/mai	07/mai	14/mai	15/mai	22/mai	23/mai
<b>C1.1</b>	0,88%	0,23%	-0,09%	-0,08%	-0,03%	0,01%	0,06%	0,00%	-0,05%	0,05%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	-0,01%
<b>C1.2</b>	0,48%	0,19%	0,11%	0,00%	0,15%	-0,10%	0,11%	-0,06%	0,06%	-0,04%	0,06%	0,01%	0,00%	0,00%	0,01%
<b>C1.3</b>	0,71%	0,21%	0,00%	0,01%	0,07%	-0,11%	0,01%	0,01%	0,01%	-0,06%	0,11%	-0,01%	0,01%	0,01%	0,01%
<b>C1.4</b>	0,23%	0,21%	0,13%	-0,01%	0,10%	0,08%	-0,12%	0,01%	0,00%	-0,06%	0,14%	-0,03%	-0,03%	-0,01%	0,00%
<b>C1.5</b>	0,26%	0,24%	0,17%	0,01%	0,08%	-0,05%	-0,05%	0,05%	0,00%	-0,05%	0,18%	0,00%	-0,03%	0,00%	-0,01%
<b>C1.6</b>	0,28%	0,18%	0,17%	-0,02%	0,07%	-0,05%	0,00%	0,02%	0,01%	-0,07%	0,15%	0,02%	-0,02%	0,04%	0,00%
<b>C1.7</b>	0,27%	0,20%	0,13%	-0,10%	0,06%	-0,01%	0,05%	0,01%	0,05%	-0,05%	0,14%	-0,04%	-0,04%	0,00%	0,10%
<b>C1.8</b>	0,33%	0,16%	0,08%	-0,01%	0,05%	-0,03%	0,05%	-0,01%	0,08%	-0,05%	0,13%	-0,03%	-0,05%	0,03%	0,08%
<b>C1.9</b>	0,36%	0,13%	0,07%	-0,07%	0,17%	-0,07%	0,04%	0,01%	0,04%	-0,06%	0,10%	0,00%	-0,07%	0,07%	0,07%

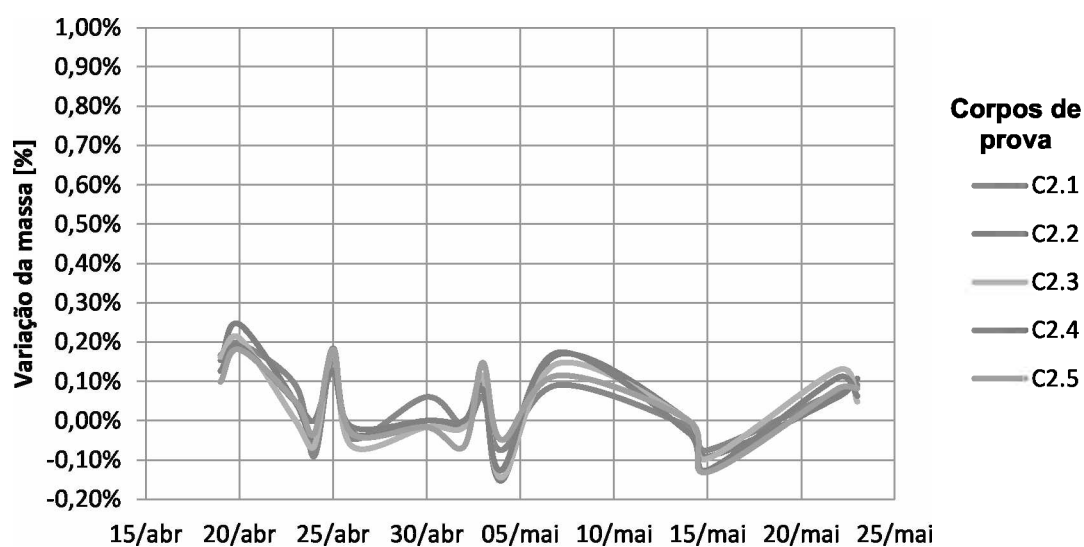


**Tabela 48: Variação da massa dos corpos de prova (g) – Série 2**

	18/abr	19/abr	20/abr	23/abr	24/abr	25/abr	26/abr	30/abr	02/mai	03/mai	04/mai	07/mai	14/mai	15/mai	22/mai	23/mai
<b>C1.1</b>	66,13	66,24	66,37	66,43	66,37	66,48	66,45	66,49	66,48	66,52	66,47	66,53	66,52	66,47	66,52	66,58
<b>C1.2</b>	65,18	65,28	65,44	65,47	65,44	65,56	65,54	65,54	65,53	65,59	65,49	65,6	65,6	65,54	65,58	65,65
<b>C1.3</b>	61,76	61,86	61,99	61,99	61,95	62,06	62,02	62,01	62	62,07	61,98	62,07	62,07	62,01	62,09	62,12
<b>C1.4</b>	63,33	63,41	63,53	63,56	63,56	63,64	63,63	63,63	63,63	63,68	63,6	63,71	63,69	63,61	63,68	63,72
<b>C1.5</b>	60,8	60,86	60,97	61	60,98	61,09	61,07	61,06	61,02	61,11	61,08	61,15	61,15	61,07	61,12	61,17

**Tabela 49: Variação da massa dos corpos de prova (%) – Série 2**

	19/abr	20/abr	23/abr	24/abr	25/abr	26/abr	30/abr	02/mai	03/mai	04/mai	07/mai	14/mai	15/mai	22/mai	23/mai
<b>C1.1</b>	0,17%	0,20%	0,09%	-0,09%	0,17%	-0,05%	0,06%	-0,02%	0,06%	-0,08%	0,09%	-0,02%	-0,08%	0,08%	0,09%
<b>C1.2</b>	0,15%	0,25%	0,05%	-0,05%	0,18%	-0,03%	0,00%	-0,02%	0,09%	-0,15%	0,17%	0,00%	-0,09%	0,06%	0,11%
<b>C1.3</b>	0,16%	0,21%	0,00%	-0,06%	0,18%	-0,06%	-0,02%	-0,02%	0,11%	-0,14%	0,15%	0,00%	-0,10%	0,13%	0,05%
<b>C1.4</b>	0,13%	0,19%	0,05%	0,00%	0,13%	-0,02%	0,00%	0,00%	0,08%	-0,13%	0,17%	-0,03%	-0,13%	0,11%	0,06%
<b>C1.5</b>	0,10%	0,18%	0,05%	-0,03%	0,18%	-0,03%	-0,02%	-0,07%	0,15%	-0,05%	0,11%	0,00%	-0,13%	0,08%	0,08%

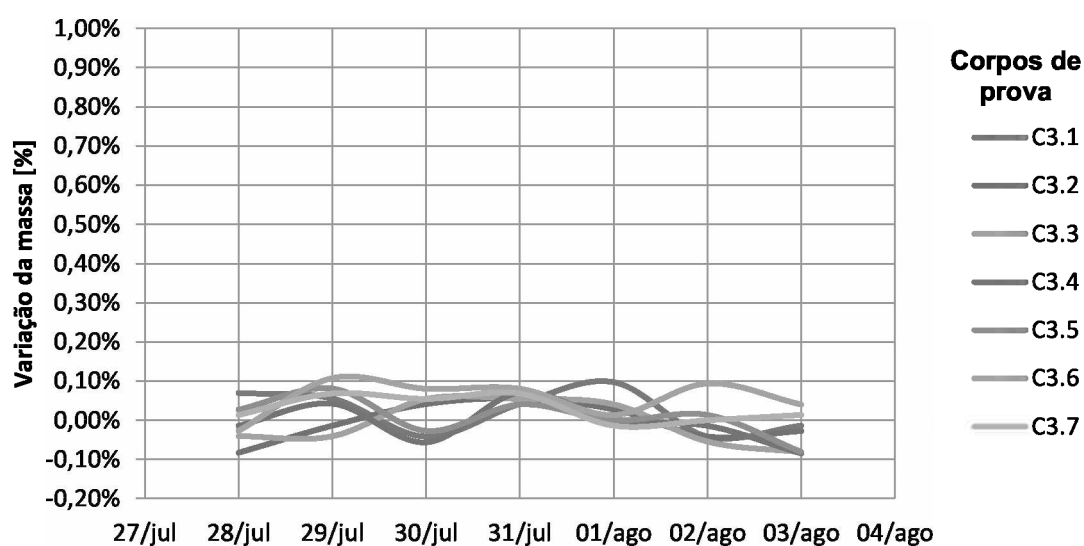


**Tabela 50: Variação da massa dos corpos de prova (g) – Série 3**

	27/jul	28/jul	29/jul	30/jul	31/jul	01/ago	02/ago	03/ago
<b>C3.1</b>	71,92	71,97	72,01	71,98	72,01	72,08	72,05	72,04
<b>C3.2</b>	72,50	72,44	72,43	72,46	72,5	72,52	72,49	72,47
<b>C3.3</b>	73,80	73,77	73,74	73,78	73,82	73,85	73,81	73,75
<b>C3.4</b>	71,01	71,00	71,03	70,99	71,04	71,04	71,03	70,97
<b>C3.5</b>	74,31	74,33	74,39	74,37	74,4	74,40	74,41	74,35
<b>C3.6</b>	74,50	74,48	74,56	74,62	74,68	74,69	74,76	74,79
<b>C3.7</b>	73,22	73,23	73,28	73,32	73,37	73,36	73,36	73,37

**Tabela 51: Variação da massa dos corpos de prova (%) – Série 3**

	28/jul	29/jul	30/jul	31/jul	01/ago	02/ago	03/ago
<b>C3.1</b>	0,07%	0,06%	-0,04%	0,04%	0,10%	-0,04%	-0,01%
<b>C3.2</b>	-0,08%	-0,01%	0,04%	0,06%	0,03%	-0,04%	-0,03%
<b>C3.3</b>	-0,04%	-0,04%	0,05%	0,05%	0,04%	-0,05%	-0,08%
<b>C3.4</b>	-0,01%	0,04%	-0,06%	0,07%	0,00%	-0,01%	-0,08%
<b>C3.5</b>	0,03%	0,08%	-0,03%	0,04%	0,00%	0,01%	-0,08%
<b>C3.6</b>	-0,03%	0,11%	0,08%	0,08%	0,01%	0,09%	0,04%
<b>C3.7</b>	0,01%	0,07%	0,05%	0,07%	-0,01%	0,00%	0,01%



**Tabela 52: Variação da massa dos corpos de prova (g) – Série 4**

	27/jul	28/jul	29/jul	30/jul	31/jul	01/ago	02/ago	03/ago
<b>C4.1</b>	92,43	92,60	92,53	92,58	92,64	92,67	92,63	92,64
<b>C4.2</b>	97,31	97,36	97,32	97,34	97,38	97,42	97,38	97,35
<b>C4.3</b>	97,20	97,17	97,18	97,25	97,31	97,29	97,28	97,24
<b>C4.4</b>	99,72	99,75	99,79	99,88	99,97	99,97	99,92	99,91
<b>C4.5</b>	95,25	95,35	95,34	95,41	95,48	95,50	95,53	95,48
<b>C4.6</b>	94,22	94,42	94,51	94,59	94,67	94,72	94,72	94,81
<b>C4.7</b>	95,66	95,69	95,76	95,82	95,91	95,93	95,99	96,02

**Tabela 53: Variação da massa dos corpos de prova (%) – Série 4**

	28/jul	29/jul	30/jul	31/jul	01/ago	02/ago	03/ago
<b>C4.1</b>	0,18%	-0,08%	0,05%	0,06%	0,03%	-0,04%	0,01%
<b>C4.2</b>	0,05%	-0,04%	0,02%	0,04%	0,04%	-0,04%	-0,03%
<b>C4.3</b>	-0,03%	0,01%	0,07%	0,06%	-0,02%	-0,01%	-0,04%
<b>C4.4</b>	0,03%	0,04%	0,09%	0,09%	0,00%	-0,05%	-0,01%
<b>C4.5</b>	0,10%	-0,01%	0,07%	0,07%	0,02%	0,03%	-0,05%
<b>C4.6</b>	0,21%	0,10%	0,08%	0,08%	0,05%	0,00%	0,10%
<b>C4.7</b>	0,03%	0,07%	0,06%	0,09%	0,02%	0,06%	0,03%

